

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra metalurgie a slévárenství

Diplomová práce

Hodnocení kvality odlitků z hliníkových slitin

The Evaluation of Aluminum Alloy's Castings Quality

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra metalurgie a slévárenství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Kaňok**
Studijní program: N2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 2109T038 Moderní metalurgické technologie
Téma: **Hodnocení kvality odlitků z hliníkových slitin**
The Evaluation of Aluminum Alloy's Castings Quality
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Cíl práce
2. Popis vad vyskytujících se u odlitků ze slitin hliníku, včetně rozboru jejich příčin
3. Možnosti identifikace vad z pohledu destruktivního a nedestruktivního zkoušení
4. Rozbor vad a jejich identifikace u vybraných typů odlitků
5. Zhodnocení dosažených výsledků
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BOLIBRUCHOVÁ, D., TILLOVÁ, E. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*. Vyd.1. Žilina: EDIS, 2005. 180 s. ISBN 80-8070-485-6.
- [2] GRUZLESKI, J. E., CLOSSET, B. E. *The Treatment of Liquid Aluminium – Silicon Alloys*. Des Plaines: American Foundrymen's Society, Inc., 1999, 256 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Filip Radkovský

Datum zadání: 30.11.2016

Datum odevzdání: 21.04.2017



prof. Ing. Karel Michalek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách).

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní DP také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem navazujícího magisterského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2016/2017.

Ostrava 2. 12. 2016



Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 10.4.2017

Miroslav Kaňoh
.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

V úvodu diplomové práce bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu doc. Ing. Petru Lichému Ph.D. a konzultantovi Ing. Filipu Radkovskému za poskytnuté rady a za celkové odborné vedení.

Diplomová práce vznikla v rámci řešení projektů “Studentské grantové soutěže” čísel SP 2017/57 a SP 2017/58.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na hodnocení jakosti odlitků automobilových převodových skříní ze slitiny AlSi9Cu3(Fe). Praktická oblast je souhrnným poznáním výroby hodnocených odlitků ve slévárně dodavatele. V úvodu začíná samotným tavením, dále rafinací taveniny, tlakovým odléváním a kontrolou kvality hotových odlitků. Další část je zaměřena na způsoby řízení kvality převzetí dovezených kusů na obrobně, jejich finálním opracováním a důležitou kontrolou během procesu výroby a po obrobení. Závěrečná část rozebírá neshodné odlitky s určením typu, klasifikace vad, příčin vzniku vad a nastíněním pro jejich předcházení.

Klíčová slova

Hliník, slitina hliníku, metalurgické zpracování, vysokotlaké lití, hodnocení odlitků, porezit

Abstract

Master thesis is focused on evaluation of quality of the castings for car transmission boxes from alloy AlSi9Cu3(Fe). The practical part deals with overall production of the evaluated castings in supplier's foundry. In the introduction part melting process, refining of liquid alloy, pressure die casting and quality control of the final castings are presented. The next part focuses on quality management of taking delivery of the castings in the machining shop, final machining of castings and their important control during production process and after machining. The final parts is concerned with the castings which are not identical, specification of their types, classification of defects and their causes of origin and a few recommendation how to prevent origin of defects.

Key words:

Aluminium; aluminium alloy; metallurgical processing; high pressure die casting; evaluation of castings; porosity

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Čistý hliník.....	2
3. Průmyslová výroba hliníku.....	3
3.1 Způsoby výroby oxidu hlinitého.....	4
3.2 Bayerova metoda výroby oxidu hlinitého.....	4
3.3 Získávání hliníku vysoké čistoty elektrolýzou.....	4
4. Materiálové specifikace slitin hliníku.....	4
4.1 Specifikace podle chemického rozdělení.....	4
4.2 Technické rozdělení slitin hliníku.....	5
4.3 Specifikace podle mechanických vlastností.....	5
4.4 Specifikace podle technologických vlastností.....	6
5. Slitiny hliníku pro odlitky.....	7
5.1 Slitiny Al-Si (Siluminy).....	8
5.2 Speciální siluminy.....	9
5.3 Odlitky významných slitin hliníku pro technické účely.....	10
6. Možnosti vylepšení hliníkových slitin tepelným zpracováním.....	13
6.1 Žíhání.....	13
6.2 Proces vytvrzování slitin.....	13
7. Obecné zásady metalurgie slitin hliníku.....	14
7.1 Tavení slitin hliníku.....	14
7.2 Vměstky v tavenině.....	15
7.2.1 Rafinace taveniny.....	15
7.3 Odstranění nežádoucích plynů z taveniny.....	16
7.3.1 Vakuování taveniny slitin Al.....	16
7.3.2 Snížení obsahu plynů pomocí odplynovacích solí.....	16
7.3.3 Probublávání taveniny aktivními plyny.....	16
8. Očkování hliníkových slitin.....	16
9. Modifikace hliníkových slitin	18
10. Kontrola taveniny.....	19
11. Odlévání hliníkových slitin.....	19
11.1 Metody odlévání pro menší produktivitu.....	20
11.1.1 Gravitační lití do pískových forem.....	20
11.1.2 Gravitační lití do skořepinových forem.....	20
11.2 Metody odlévání pro vysokou produktivitu.....	21
11.2.1 Tlakové lití.....	21
11.2.2 Odstředivé lití.....	22
11.3 Speciální metody výroby odlitků.....	22
11.3.1 Odlévání s krystalizací pod tlakem - Squeeze casting.....	22

12. Kontrola jakosti odlitků.....	23
13. Opravy vad odlitků.....	23
14. Praktická část hodnocení kvality odlitků.....	23
14.1 Tavení v šachtové peci.....	23
14.2 Rafinace taveniny v pánvi za účelem odstranění vměstků a plynů.....	24
14.3 Metalurgické operace v udržovací peci.....	26
14.4 Technologie vysokotlakového lití.....	27
14.4.1 Princip tlakového licího stroje se studenou komorou.....	28
14.4.2 Metody kontroly kvality odlitků ve slévárně dodavatele.....	30
15. Metody kontroly kvality dodaných odlitků na obrobně.....	30
15.1 Postup kontroly kvality ve skladu.....	30
15.2 Postup kontroly kvality obrobených odlitků.....	31
15.3 Materiálové vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe).....	31
16. Seznam nejčtenějších nalezených slévárenských vad odlitků.....	32
16.1 Analýza nejčtenější neshody hliníkových odlitků - vnitřní vady odlitků.....	32
16.1.1 Vliv rychlosti ochlazování na vnitřní typy vad.....	33
16.2 Porezita jako nejrozsáhlejší nepřipustná vada.....	34
16.2.1 Zákonitosti vzniku porezity.....	35
16.2.2 Kritický obsah železa ve slitině.....	37
16.2.3 Úvaha omezení vnitřních vad odlitků modifikací sodíkem.....	37
17. Definování vad hodnocených odlitků automobilů Hyundai.....	38
17.1 Analýza neshodných odlitků a zároveň nepřipustných vad.....	38
17.2 Analýza neshodného odlitku s přípustnou a nepřipustnou vadou.....	44
17.3 Analýza neshodného odlitku s přípustnými vadami.....	46
18. Půlroční statistika odlitků s nepřipustnými vadami.....	48
18.1 Statistika odlitků s nepřipustnými vadami v období 06/2016 - 11/2016.....	48
18.2 Kompletní grafické zobrazení půlroční statistiky.....	52
19. Závěr.....	53
20. Seznam použité literatury.....	54

1. Úvod

Od patentování výroby hliníku z bauxitu v lázni roztaveného kryolitu uplynulo více než 130 let. Jeho průmyslová výroba byla patentována v roce 1886. V roce 1906 byla vynalezena precipitačně vytvrditelná hliníková slitina AlCu4Mg známá také jako dural a v první polovině 20. století přispěla k výraznému nástupu výroby hliníkových slitin hlavně možnost jeho využití v oblasti vojenské techniky za druhé světové války. Po jejím skončení nastal exponenciální růst jeho výroby zejména z důvodu rozšíření technologie odlévání do kovových forem a to především tlakovým litím. Většina odlitků pro automobilový průmysl se vyrábí ze slitin neželezných kovů. Pod tímto pojmem se v technické praxi rozumí všechny slitiny, u kterých je základním prvkem jiný kov než železo. [1]

Tlakové lití je velmi atraktivní technologie, díky její vysoké produktivitě a kvalitě odlitků téměř konečného tvaru (near net - shape). Pro zdůraznění vyspělého slévárenského průmyslu v České republice stojí za zmínku připomenutí prvotního uplatnění výroby hliníkových odlitků, patentovaným procesem vysokotlakého lití ve slévárně Škoda Auto v Mladé Boleslavi. Jednalo se o odlitky bloků motorů a převodovek slavného modelu 1000 MB, které byly takto odlévány ve své době jako první v Evropě.

Progresivní metoda výroby odlitků za zvýšených sil ovšem přináší s sebou rizika několika typů vad, z nichž nejčastější jsou vnitřní vady odlitků. Jedná se o mikrostaženinu, plynovou bublinu a jejich kombinaci - porezitu. Předcházením vad odlitků pomáhají simulační programy lití a tuhnutí ještě před zahájením kusové a následně sériové výroby.

Cílem diplomové práce je hodnocení jakosti odlitků automobilových převodových skříní ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) . Praktická oblast je souhrnným poznáním výroby hodnocených odlitků ve slévárně dodavatele. V úvodu začíná samotným tavením, dále rafinací taveniny, tlakovým odléváním a kontrolou kvality hotových odlitků. Další část je zaměřena na způsoby řízení kvality převzetí dovezených kusů na obrobně, jejich finálním opracováním a důležitou kontrolou během procesu výroby a po obrobení. Závěrečná část rozebírá neshodné odlitky s určením typu, klasifikace vad, příčin vzniku vad a nastíněním pro jejich předcházení.

2. Čistý hliník

Hliník je stříbrobílý nepolymorfní kov krystalizující v soustavě FCC s teplotou tání 660,5 °C. Jeho hlavními výhodami jsou nízká měrná hmotnost, dobrá elektrická, tepelná vodivost, vysoká měrná tepelná kapacita, dobrá tvárnost za studena i za tepla a dobrá svařitelnost v ochranné atmosféře. Tvrdost je 20 - 30 HB. Vlastnosti hliníku ovlivňuje stupeň čistoty a způsob zpracování. Na vzduchu je hliník velmi stálý, protože se na jeho povrchu tvoří kompaktní vrstvička Al_2O_3 s tloušťkou 5 až 20 nm, která zabraňuje další oxidaci. Hliník poměrně dobře odolává i mořské vodě, slabším kyselinám, koroduje však ve styku se zásaditými látkami. [2]

V tabulce 1 jsou vybrané fyzikální vlastnosti čistého hliníku. Použití čistého hliníku v různých průmyslových má význam pro elektrovedný materiál, plátování slitin hliníku i ocelí jako ochrana proti korozi, pro obalový materiál a pro výrobu slitin jako konstrukční materiál. V metalurgické výrobě ocelí je nenahraditelný k dezoxidaci oceli, jehož čistota se pohybuje mezi 98 až 99,7 % hliníku. [1], [3] Vzhled čistého hliníku můžeme vidět na obr. 1:

Tabulka 1: Důležité fyzikální vlastnosti hliníku při standardní teplotě 20 °C [2]

Specifikace	Hodnota
Atomová hmotnost	26,98154
Parametr mřížky	$a=0,40958\text{nm}$
Měrná hmotnost	$2,6989\text{ g.cm}^{-3}$
Teplota tavení	660,4 °C
Tepelná vodivost	$235\text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Latentní teplo tavení	397 kJ.kg^{-1}
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Elektrická vodivost	$2,6.10^{-8}\text{ }\Omega.\text{m}$
Teplota supravodivosti	1,2 K



Obr. 1: Vzhled čistého hliníku [4]

3. Průmyslová výroba hliníku

V zemské kůře je obsah hliníku 8,15 %. Tento vysoce chemicky reaktivní kov nebyl nikdy nalezen v přírodě jako čistý ryzí, ale jen v zoxidované formě. Je známo zhruba 250 různých minerálů. Podíl hliníku je ve sloučeninách vázán jako bauxit, kryolit, korund, spinely, kaolin. Primární hliník se vyrábí elektrolýzou nejčastěji z bauxitu obr. 2, což je v podstatě oxid hlinitý s různým obsahem oxidů Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 a dalších. Obsah Al_2O_3 je v něm kolem 50% a H_2O má bauxit cca 20%. Název bauxit prosadil Pierre Berthier. Bauxit je ruda nazvaná podle vesnice Le Baux ve francouzském kraji Provence, kde byla poprvé objevena r. 1821.[5]

Chemické složení je pro vhodnost výroby velmi důležité. Podíl SiO_2 se špatně odstraňuje, proto je jeho obsah důležitý pro volbu výrobní metody. V závislosti na bohatosti se jedna tuna hliníku získává ze čtyř až šesti tun bauxitu. [5]



Obr. 2: Hornina bauxit [6]

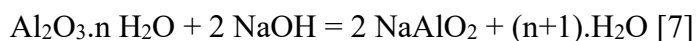
3.1. Způsoby výroby oxidu hlinitého

Pro výrobu oxidu Al_2O_3 (amfoterní sloučenina) se nejvíce používají zásadité způsoby výroby, které lze rozdělit do tří skupin: [7]

1. Bayerova metoda
2. Spékací metoda
3. Kombinované metody
4. Kyselá metoda je samostatná metoda

3.2. Bayerova metoda výroby oxidu hlinitého

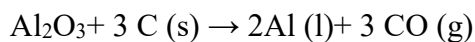
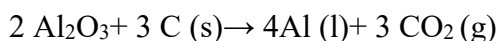
Tato nejpoužívanější hydrometalurgická metoda je založená na rozpustnosti hydrátů oxidu hlinitého z bauxitu v hydroxidu NaOH za vzniku hlinitanu sodného. Při zpracovávání bauxitu je Al_2O_3 převeden do roztoku, tak aby nečistoty jako SiO_2 , Fe_2O_3 a TiO_2 zůstaly nerozpustné a daly se z roztoku odstranit. Pak je vysrážen hydroxid hlinitý. Jemně mletý bauxit se tlakově louží hydroxidem sodným při teplotě $110 - 230^\circ\text{C}$ a tlaku $0,1 - 3\text{ MPa}$. [6]



3.3 Získávání hliníku vysoké čistoty elektrolýzou

Pro následné získání hliníku vysoké čistoty se pokračuje elektrolýzou v lázni roztaveného kryolitu (Na_3AlF_6) při teplotě přibližně 960°C s přidávkou na modifikaci elektrolytu. Elektrolýza se děje v Hall - Héraultovém elektrolyzéru, [8]

Chemické vyjádření výroby hliníku elektrolýzou: [8]



4. Materiálové specifikace slitin hliníku

4.1 Specifikace podle chemického rozdělení

Všechny slitiny obsahují základní prvek, hlavní přísadové prvky, vedlejší přísadové prvky a doprovodné prvky. Základní prvek určuje typ slitiny, konkrétně hliník. Hlavní přísadové prvky jsou klíčové pro určení vlastností slitiny. Spolu se základním prvkem definují typ slitiny. Obsah těchto prvků ve slitině je obvykle druhý nejvyšší po základním prvkem.

Hlavními přísadovými prvky ve slitinách hliníku jsou křemík, měď a hořčík. Podle těchto tří prvků se slitiny hliníku dělí na tři základní skupiny [9]:

Siluminy	→	Al - Si
Duralaluminium	→	Al - Cu
Hydronalium	→	Al - Mg

4.2 Technické rozdělení slitin hliníku

Člení se podle způsobu výroby a jejich možností zušlechťování tepelným zpracováním. V praktické části práce spadají hodnocené odlitky ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) do slévárenských nevytvrditelných slitin na odlitky. Hodnocené odlitky se tepelně nezpracovávají, protože to funkčnost budoucího odlitku nevyžaduje.

4.3 Specifikace podle mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti jsou významné konstrukční kritérium, které rozhoduje o vhodnosti materiálu a jeho předpokládaného použití. Ve většině případů jsou samozřejmě požadovány i další vlastnosti, málokdy se však setkáme s případem, kdy znalost mechanických vlastností nebude hrát žádnou roli. Níže jsou rozepsány často sledované charakteristiky materiálů:

Mez pevnosti v tahu

Mez pevnosti v tahu běžných hliníkových slitin se v litém stavu (podle slitiny, způsobu lití a tloušťky) pohybuje v rozmezí asi 150 - 250 MPa. Pevnostní vlastnosti se velmi podstatně zvyšují vytvrzováním a lze u slitiny Al - Cu dosáhnout pevnosti až 350 MPa [8].

Houževnatost

Houževnatost materiálu je definována jako odolnost materiálu vůči vzniku deformace nebo porušení. Mírou houževnatosti je množství mechanické práce potřebné k vytvoření deformace nebo k porušení materiálu. [10]

Pružnost

Schopnost materiálu deformovat se před porušením pružně. Pružná deformace je vratná, při odlehčení se rozměry tělesa vrátí na původní hodnoty. Při pružné elastické deformaci neplatí zákon zachování objemu. [10]

Tažnost

Tažnost běžných hliníkových slitin je řádu 1 - 4 %. Značného zvýšení tažnosti slitin Al slitin lze dosáhnout modifikací eutektika, tady zjemněním mikrostruktury. Pevnostní vlastnosti

se modifikací nepatrně zvyšují, maximálně asi o 50%. Ale tažnost roste mnohem výrazněji, až o 200%. [9]

Plasticita

Schopnost materiálu deformovat se před porušením plasticky. Plastická deformace je deformace nevratná, při odlehčení se rozměry tělesa nevrátí na původní hodnoty. Při plastické deformaci platí zákon zachování objemu. [10]

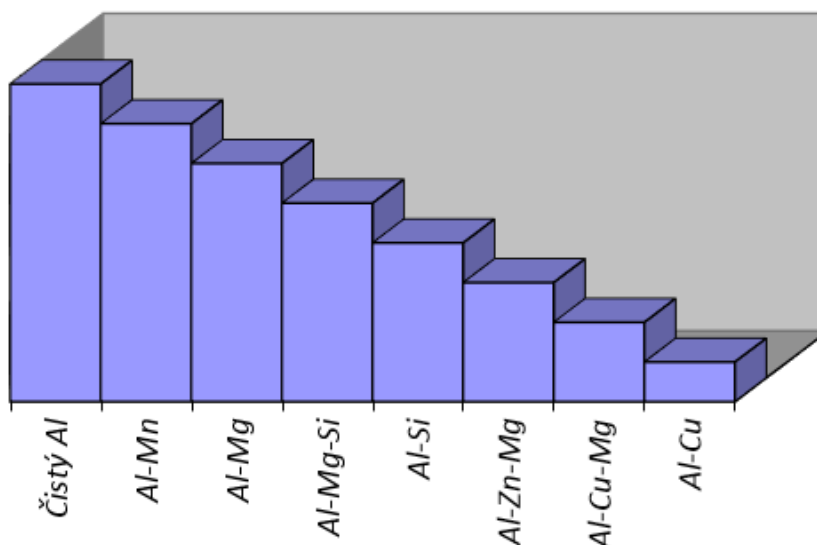
Tvrdost

Tvrdost je definována jako odpor, který materiál klade proti vnikání cizího tělesa. Tato vlastnost je v technické praxi velmi důležitá. Tvrdost lze zjistit pomocí řady zkoušek, které prakticky neporušují měřenou součást. Pomocí empirických koeficientů se dá podle tvrdosti odhadnout další vlastnosti materiálu. [11]

4.4 Specifikace podle technologických vlastností

Korozivzdornost

Odolnost proti korozi je schopnost odolávat chemickým vlivům plynných nebo kapalných prostředí. U elektrochemické koroze hovoříme o povrchových nebo hloubkových reakcích mezi některými fázemi slitiny a korozním médiem, případně rozpouštění některých složek slitiny v korozním prostředí. Nejlepší korozivzdornost má čistý hliník. Všechny další přísadové prvky snižují odolnost proti korozi. Různé přísadové prvky mají určitý vliv na korozivzdornost slitiny Al, záleží na konkrétním typu slitiny Al a množství jednotlivých prvků v nich zastoupených. Snižující se korozivzdornost slitin Al vůči čistému Al není ve skutečnosti pravidelně sestupná jako na obr. 5, ale pouze orientační. [9]



Obr. 5: Korozivzdornost čistého Al a dalších jeho slitin [9]

Svařitelnost

Svařitelnost je schopnost spojování dvou materiálu různými technologiemi svařování s požadovanou pevností a kvalitou svarových spojů. Svařitelnost hliníku a jeho slitin je ovlivněna několika podstatnými činiteli, to vyžaduje odlišný přístup ke svařování ve srovnání s nejběžnějšími konstrukčními materiály. [1].

Nepropustnost

Nepropustnost je schopnost bránit pronikání tlakového média - plynu nebo kapaliny skrze stěny odlitku. Těsnost odlitků souvisí zejména s výskytem mikrostaženin nebo prasklin. Rovněž přítomnost oxidických vměstků v kovu těsnost významně zhoršuje. Nepropustnost se zjišťuje tlakovými zkouškami.[9]

Obrobitelnost

Je to systémová vlastnost, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek. I když je obrobitelnost ovlivněna mnoha faktory (materiál obrobku, řezné nástroje, řezné podmínky, strojní vybavení, upnutí obrobků, nástrojů, způsob chlazení, odborné znalosti technologů), obvykle se hovoří o obrobitelnosti jako o vlastnosti materiálu. Obrobitelnost hliníkových slitin je velmi dobrá s nevýhodou zahřívání obrobku vlivem třecích sil nástroje. Hliníkové slitiny mají mnohem menší teplotu tání oproti nejrozšířenějším ocelím a může při obrábění s břitovými nástroji docházet k nalepování hliníku na břit. Tato oblast zasahuje i do poznání obrábění finálních odlitků na obrobne převodovkárny. Získávání jakostnějších povrchů obráběných ploch s menší střední drsností Ra se řeší vhodným povlakem obráběcích nástrojů nebo změnou řezných podmínek [13]

5. Slitiny hliníku pro odlitky

Slévárenské odlitky obsahují více přísad. Vznikají eutektické až nadeutektické slitiny s nevýhodou vzniku intermetalických fází zhoršujících tvářitelnost slitin. Mechanické vlastnosti odlitků jsou nižší oproti tvářeným materiálům. Mez pevnosti se pohybuje do 250 MPa.

Příkladem použití takových odlitků je automobilový průmysl s odlitky bloku motoru se soustavou složitých kanálků pro chlazení, převodová skříň, turbodmychadlo a mnohé další. Slévárenské slitiny hliníku také nacházejí uplatnění jako strukturální komponenty části karoserií automobilů, které zaručují úsporu hmotnosti a zjednodušení řešení spojů pomocí odlitků. Tyto části vyžadují velmi přesnou geometrii, a proto jsou odlévány především za sníženého tlaku vzduchu vakuovým litím. [15], [16]

Pro výrobu odlitků ze slitin hliníku se používají téměř všechny známé slévárenské metody. Je to hlavně díky tomu, že hliník má poměrně nízkou tavicí teplotu, a proto se nevyžaduje velká žáruvzdornost formovacích hmot. Vzhledem k vyšší přesnosti odlitků a nižším tavicím teplotám hliníku, se mohou na odlitcích navrhovat menší přídavky na obrobení nebo se konečné opracování nevyžaduje. Slitiny hliníku lze odlévat do forem pískových, skořepinových, kovových a metodou odpařitelného modelu z polystyrenu. Do kovových forem se odlévá převážně pod tlakem a do ostatních gravitačním litím. [2], [17]

Odlitky slitin hliníku se nejčastěji odlévají: [9]

- do formovacích směsí se vznikem hrubozrnné struktury
- do kovových forem s jemnou strukturou
- na spalitelný model s jemnou strukturou
- pomocí vakuové formy s jemnou strukturou

Výhody slévárenských slitin hliníku [9]:

- dobrá slévatelnost
- krátký interval krystalizace
- nízká teplota tavení
- odolnost vůči korozi
- minimalizace vodíku v odlitku
- malá náchylnost k tvorbě trhlin za tepla

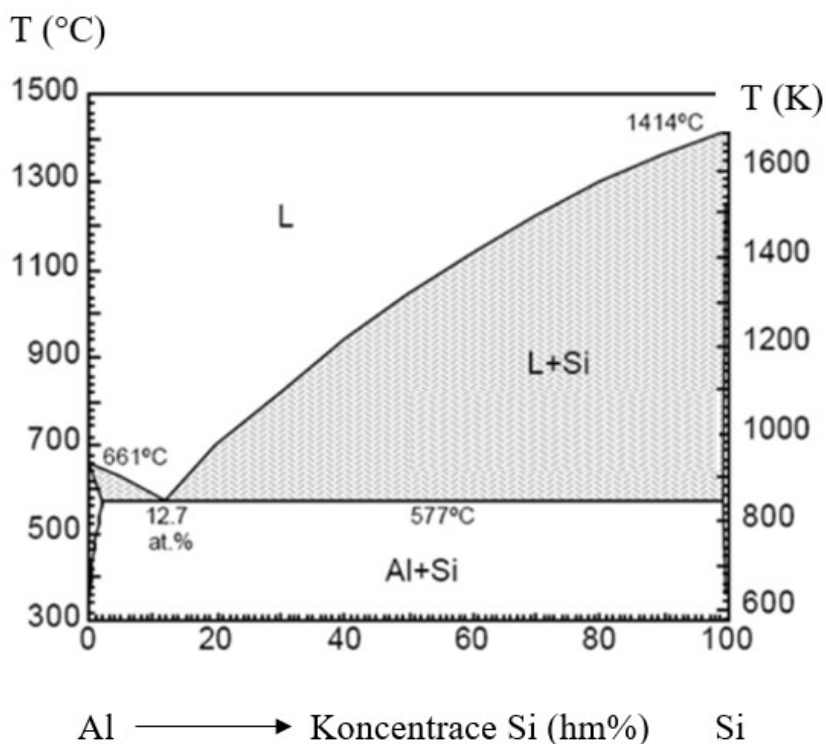
5.1 Slitiny Al - Si (Siluminy)

Tyto slitiny byly poprvé vyrobeny před více než 150 lety francouzským chemikem Sainte - Clair Devilem. Siluminy jsou nejpoužívanější hliníkové slitiny pro odlitky obr. 6. Jedná se o slitiny s vysokou zabíhavostí, malým koeficientem lineární smrštivosti, dobrou odolností proti korozi, s možností svařování a pájením. Hliník i křemík jsou kovy nepolymorfní a vzájemně netvoří další chemické sloučeniny. Křemík se v těchto slitinách vylučuje ve tvaru hexagonálních desek, které zvyšují odolnost proti otěru, ale snižují hodnoty deformačních charakteristik a houževnatosti. [2]

Maximální rozpustnost křemíku v hliníku činí 1,65 % při eutektické teplotě 577 °C. S klesající teplotou se rozpustnost snižuje a za normální teploty jsou krystaly α tvořeny téměř čistým hliníkem. Druhou fází ve struktuře těchto slitin jsou krystaly téměř čistého křemíku.

Velmi malá rozpustnost Si v hliníku nedovoluje tyto jednoduché binární slitiny Al - Si tepelně zpracovávat vytvrzováním. Z hlediska množství Si je můžeme rozdělit [8]:

- podeutektické (pod 11,7% Si)
- eutektické (11,7% Si)
- nadeutektické (11,7 až 24% Si)



Obr. 6: Binární rovnovážný diagram Al-Si [15]

5.2 Speciální siluminy

Mechanické vlastnosti slitin Al - Si závisejí v první řadě na obsahu křemíku. S jeho rostoucím obsahem roste tvrdost a klesá tažnost, zejména při nadeutektickém obsahu Si. Největší vliv na zlepšení pevnostních charakteristik siluminů mají přísady mědi a hořčíku, které umožňují takto vznikající speciální siluminy Al - Si - Cu, Al - Si - Mg vytvrzovat a dosáhnout pevnosti až 300 MPa. Přísadami ještě dalších prvků (Mn, Ti, Zn, Ni) vznikají siluminy o čtyřech i více složkách, které mají zlepšené některé další vlastnosti. [9], [19]

V automobilovém průmyslu se používají např. siluminy s přísadou niklu a mědi nebo železa. V těchto slitinách vznikají vícesložkové fáze, které mají dobrou tepelnou stabilitu, proto slitiny s obsahem 1 - 2 % Ni zaručují dobré mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. Slitiny

s niklem mají i poněkud menší součinitel teplotní roztažnosti, což ji předurčuje k součástkám pístů, hlav válců motorů. Obdobné účinky jako přísada niklu má i kobalt. [19]

5.3 Odlitky významných slitin hliníku pro technické účely

Slitiny Al - Cu

Odlitky jsou používány při vyšších teplotách kolem 350 až 450 °C. Vyznačují se širokým teplotním intervalem krystalizace, kterým se zhoršují slévárenské vlastnosti (menší zabíhavost, tvorba trhlin a mikropórů). Měď obsažená ve slitině zhoršuje korozní odolnost, odlitky je proto nutno povrchově chránit. Slitina Al - Cu přes zhoršené slévárenské vlastnosti našla uplatnění automobilových odlitků z důvodu vysokých mechanických vlastností dosažených tepelným zpracováním. Používá se pro žebrované hlavy válců a rozměrově větší písty. [19]

Slitiny Al - Si - Cu

Jsou nejpoužívanějšími slitinami hliníku pro odlitky. Velké uplatnění mají v automobilovém průmyslu. Vyznačují se sníženým obsahem křemíku. Součástí této slitiny je měď, která zlepšuje vlastnosti za vyšších teplot, ale současně snižuje odolnost proti korozi. Tyto slitiny se sice nevytvrzují, ale díky příměsi mědi a zinku dochází k samovolnému vytvrzování, proto odlitky získávají finální mechanické vlastnosti až po několika dnech [9].

K jejich přednostem patří dobrá obrobitelnost, při chladnutí se u nich netvoří soustředěné staženiny, nedochází ke vzniku trhlin za tepla a zlepšuje se nepropustnost odlitků. Odlitky jsou používány u automobilů jako převodové, spojkové skříně, armatury benzínových motorů, hlavy válců, karburátory. Na obr. 7 je hlava válců vznětového motoru: [9], [19]



Obr. 7: Hlava válců vznětového motoru ze slitiny AlSi9Cu1Mg [19]

Slitiny Al - Mg

Tyto slitiny se obvykle tvoří z velmi čistého hliníku (min. 99,7). Z důvodu získání co nejlepší odolnosti proti korozi proto obvykle obsahují méně železa a křemíku než je obvyklé u ostatních hliníkových slitin. Slitiny Al-Mg mají dvě nejdůležitější vlastnosti ovlivňující jejich použití. První z nich je vysoká odolnost proti korozi zvláště v mírně alkalickém prostředí a proti mořské vodě. Druhá vysoce ceněná vlastnost slitin Al - Mg je možnost povrchové úpravy. Pokud mají slitiny obsah Mg menší než 4 %, je možno provádět anodickou oxidaci a odlitky leštit. Vyznačují se vysokou měrnou pevností, rázovou houževnatostí, vysokou tažností, obrobiteľností a nízkou hustotou. Jejich nevýhodou jsou zhoršené slévárenské vlastnostmi, větší pórovitost a nižší těsnost odlitků. Uplatnění v automobilovém průmyslu našly jako pedály, řadicí páky nebo jsou součástí podvozků. [14], [21]

Slitiny Al - Mg - Si

V těchto slitinách křemík zlepšuje zabíhavost a snižuje možnost vzniku trhlin. Slitiny typu AlMgSi se používají na více namáhané odlitky pracující při vyšších teplotách. Na automobilech je nalezneme na žebrované hlavě válců motorů, odlitcích vystavených povětrnostním vlivům nebo jako automobilové kování. Tyto slitiny se uplatňují i pro kuchyňské nádobí a fotografické přístroje. [9], [13]

Slitiny Al - Zn

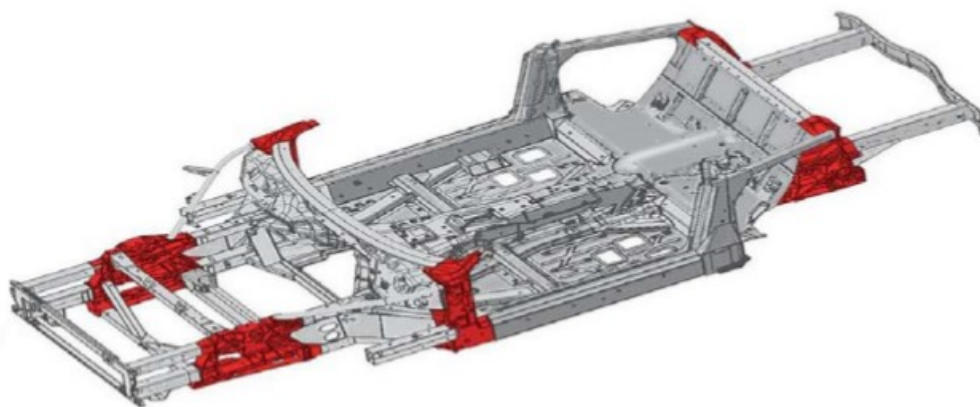
Technické slitiny obsahují obvykle 5 - 7 % zinku a do 1 % hořčíku. Tyto slitiny se samovolně vytvrzují za studena a po době 20 - 30 dní dosahují pevnosti v tahu až 250 MPa při tažnosti kolem 5 %, tvrdost je přibližně 70HB. Z technického hlediska je však důležitá zejména vysoká rozměrová stabilita, dobrá odolnost proti korozi a dobrá obrobiteľnost. Kvalita povrchu po obrobení, případně po eloxování je vynikající. Nevýhoda těchto odlitků je nízká odolnost proti korozi pod napětím. Nejsou však zařazeny v ČSN [9], [13]

Slitiny Al - Sn

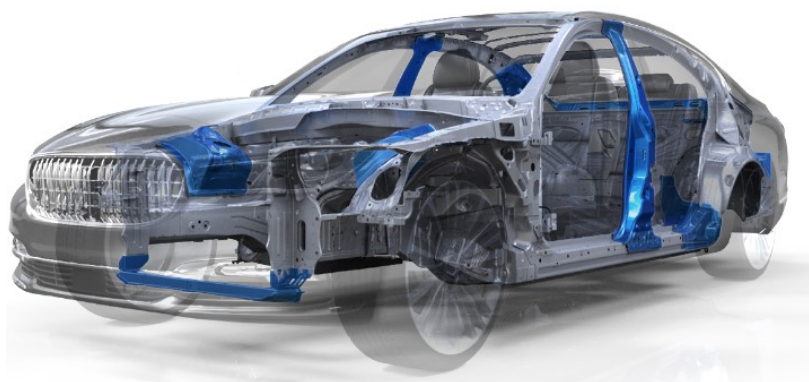
Tyto slitiny obsahují cca 6% Sn a malé množství Cu a Ni pro zvětšení pevnostních hodnot. Podle normy ČSN tato slitina není zastoupena, ale v americkém značení se jedná o slitinu AA 850.0 - 6.5 Sn - 1Cu - 1Ni. Tato slitina se osvědčila pro výborné třecí vlastnosti pro kluzná ložiska, pouzdra. Slévárenskou nevýhodou je velké rozpětí intervalu krystalizace a následně segregace Sn. U automobilů se používá u dílů motorů, které pracují v nižších otáčkách, jako ložiska klikové skříně u dieselových motorů. [13], [14]

Slitiny Al - Li

Tyto slitiny jsou určeny přednostně pro tvářené hutní polotovary, avšak dle potřeby mohou být použity i pro odlitky. Vzhledem k vysoké reaktivitě lithia s kyslíkem ve vzduchu se tavení a odlévání těchto slitin provádí pod krycí struskou v ochranné atmosféře argonu. [9], [14] Názorné použití hliníkových odlitků pro spojovací části karoserie ve voze Ferrari je vidět na obr. 8 a progresivní současné trendy strukturálních komponentů z hliníkových slitin na obr. 9.



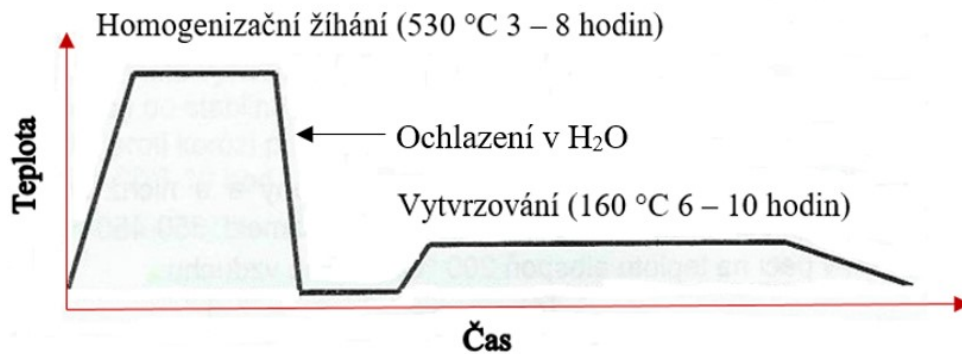
Obr. 8: Odlitky z hliníkových slitin ve voze Ferrari 612 Scaglietti vyobrazeny červeně [16]



Obr. 9: Využití strukturálních komponentů ze slitin hliníku vyobrazených modře [29]

6. Možnosti vylepšení hliníkových slitin tepelným zpracováním

Tepelné zpracování je proces zušlechtnění obr. 10, při kterém je polotovar nebo konečný výrobek vystaven ohřevu na požadovanou teplotu, potřebné výdrži na teplotě s následným ochlazením, za účelem dosažení požadované mikrostruktury a technologických vlastností. Lze ho rozdělit na žíhání a vytvrzování. Žíhání však u slitin hliníku není časté.



Obr. 10: Podstata tepelného zpracování [21]

6.1 Žíhání

Žíhání se dělí na několik podskupin. Žíhání na odstranění pnutí se používá zejména u odlitků a po svařování. Pokles pnutí je nejúčinnější při teplotách 300 až 400 °C. Rekrystalizační žíhání bývá zařazeno jako mezioperace po tváření za studena, nebo i operací konečnou a provádí se při teplotě 300 až 400 °C. Dalším typem je žíhání vytvrzených slitin, které se používá tehdy, pokud je vytvrzený materiál určen k dalšímu tváření. Žíhací teplota je obvykle 350 °C. Podle vhodnosti tepelného ošetření se žíhání dělí na: [22]

- odstranění vnitřního pnutí
- na měkko
- stabilizační
- homogenizační

6.2 Proces vytvrzování

Principem precipitačního vytvrzení hliníkové slitiny se rozumí předchozí rozpouštěcí žíhání, následné ochlazení a umělé stárnutí s cílem výrazně zvýšit pevnost slitin pomocí precipitace s vyloučením velmi malých částic (precipitátů), které zabraňují pohybu dislokacím a důsledkem je navýšení pevnostních hodnot. Proces stárnutí může probíhat i za teplot okolního prostředí, pak se jedná o stárnutí přirozené. Podstatou stárnutí je difúze přísadového prvku a

obohacováním oblastí jim zastoupeným s nukleací nové fáze. Například u slitiny Al - Cu se jedná o fázi CuAl_2 . [22]

7. Obecné zásady metalurgie slitin hliníku

7.1 Tavení slitin hliníku

Kvalita odlitků zpravidla nemůže být lepší, než byla metalurgická kvalita roztaveného kovu. Cílem tavícího procesu proto musí být natavení slitiny s požadovanou kvalitou a to za co možná nejnižších nákladů. O kvalitě kovu rozhodují zejména vsázkové suroviny, konstrukční typy pecí, metalurgické zpracování a kontrola kvality taveniny. Nej kvalitnější vsázkou ve tvaru housek je slitina primárního tavení z hutí, která patří mezi nejdražší materiály. Dalším typem jsou sekundární slitiny, vyrobené přetavením hliníkového šrotu. Dále vratný materiál, běžně vtoky, nálitky, zmetky má nejmenší kvalitu. Nejpoužívanější rozsah vsázky je podíl 40 - 60 % vratného materiálu, zbytek jsou housky slitin. [9]

Pro tavení slitin hliníku se používá více druhů pecí. Například to mohou být kelímkové pece. Jejich nevýhodou je, že se musí používat speciální kelímek, který je náchylný k opotřebení a proto se musí často měnit. Dalším druhem pecí jsou šachtové pece a komorové pece. Jejich výhodou oproti kelímkovým je, že se nemusí používat speciální kelímky a vsázka nepřichází do kontaktu s taveninou. Dalším typem jsou udržovací pece, které nám udržují už roztavenou taveninu v tekutém stavu, ale vsázku netaví. Vsázkový materiál ingotu hliníku je taky označován jako hliníková houska obr. 11: [23]



Obr. 11: Hliníková houska [24]

7.2 Vměstky v tavenině

Vměstky jsou cizí částice v tekutém kovu a odlitcích. Většinou jsou to různé oxidy a karbidy. Pro základní omezení makroskopických vměstků se používají tkaninové, keramické filtry nebo kovová sítká. Hlavními typy vměstků jsou exogenní vměstky, které vznikají během tavení a odlévání reakcí s vyzdívkou pece a endogenní, které vznikají oxidací a chemickými reakcemi mezi jednotlivými prvky v samotné tavenině. Konkrétně se jedná o oxidické blány, makroskopické vměstky, mikroskopické vměstky rozložené lokálně nebo rovnoměrně. [9]

Vměstky v tavenině nebo konečném odlitku jsou vždy nežádoucí. Tvoří vruby a zhoršují mechanické vlastnosti materiálu, tvoří tvrdé částice a zhoršují obrobiteľnosť, zhoršují kvalitu povrchu, zhoršuje se možnost leštění a možnost eloxování. Vměstky zhoršují také slévárenské vlastnosti, tvoří překážky v tavenině, tvoří se blány Al_2O_3 , které zhoršují zabíhavost a dosazování. [23]

7.2.1 Rafinace taveniny

Rafinací se snižuje počet vměstků a dosahuje se požadované metalurgické kvality taveniny například odstátím taveniny. Při vynášení vměstků plynovými bublinami budou rozpuštěné plyny přecházet do objemu bublinek tak dlouho, dokud se neustaví na rozhraní plyn - kov rovnováha daná Sievertovým zákonem. Dalšími možnostmi je chemická vazba vměstků pomocí krycích a rafinačních solí a mechanickým zachycováním vměstků filtrací taveniny. [9]

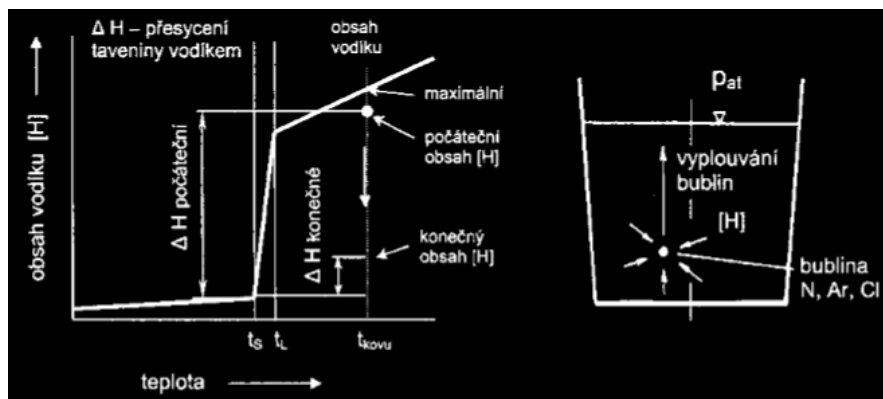
Principem krycích přípravků je bránit přímému kontaktu roztaveného kovu s atmosférickým kyslíkem a vlhkostí. Krycí soli obsahují chloridy a fluoridy alkalických kovů (NaCl , KCl , NaF , KF , CaCl_2 , Na_3AlF_6). Dávkování krycích solí pro pokrytí celé hladiny roztaveného kovu je přibližně 1 hm. % z celé hmotnosti vsázky. Pro speciální siluminy se tato metoda téměř nepoužívá. [23]

Principem rafinačních přípravků je odstranění oxidických vměstků z taveniny, snížení propalu hliníku, případné snížení obsahu některých nežádoucích prvků. Rafinuje se pomocí chloridových a fluoridových solí s přísadou aktivních činitelů, které společnou reakcí ovlivňují povrchové napětí mezi kovem a oxidy. Konečným výsledkem je, že nečistoty vyplavují ve formě strusky na hladinu. U takto pokryté hladiny se provede stěr, který obsahuje kromě oxidů a vměstků i značný podíl kovové fáze Al. [23]

7.3 Odstranění nežádoucích plynů z taveniny

7.3.1 Vakuování taveniny slitin hliníku

Snížení obsahu plynů v Al slitinách vakuováním taveniny je založeno na snížení parciálního tlaku plynu nad hladinou roztaveného kovu. Tlak nad hladinou taveniny se snižuje na hodnotu 100 až 200 Pa po dobu 5 až 15 minut. Na obr. 12 je vidět princip vakuování taveniny: [23]



Obr. 12: Princip vakuování taveniny slitiny Al [23]

7.3.2 Snížení obsahu plynů pomocí odplyňovacích solí

Odplyňovací soli jsou sloučeniny, které se při teplotě cca 600°C rozkládají za vzniku plynného dusíku, případně chloru či fluoru. Soli se ponoří ke dnu tavícího kelímku pomocí ponorného zvonu. Pak se vyčká, až reakce dojde až na povrch hladiny a stáhne se struska. Jedná se o soli ve formě prášku, tablet nebo granulátu. [23]

7.3.3 Probublávání taveniny aktivními plyny

Aktivní plyny jsou fluor a chlor, dříve se používaly také freony. Nevýhodou při odplyňování aktivními plyny je ztráta modifikačního účinku Na a Sr a může se výrazně snížit i obsah Mg. Proto je nutné modifikaci provádět až po odplynění. Stupeň odplynění je u aktivních plynů lepší oproti inertním. Z důvodu ekologické zátěže je odplyňování aktivními plyny výrazně omezováno. [9], [23]

8. Očkování hliníkových slitin

Cílem očkování je zjemnění primární fáze vnášením nukleačních zárodků. Jako velmi dobré očkovadlo se jeví předslitiny titanu a bóru. Tyto prvky se přivádí do taveniny v podobě solí nebo jako před slitiny. Očkováním se nemění intenzita ochlazování, zůstává původní i hodnota DAS. Hodnota DAS (Dendrite Arm Spacing) závisí pouze na rychlosti chladnutí

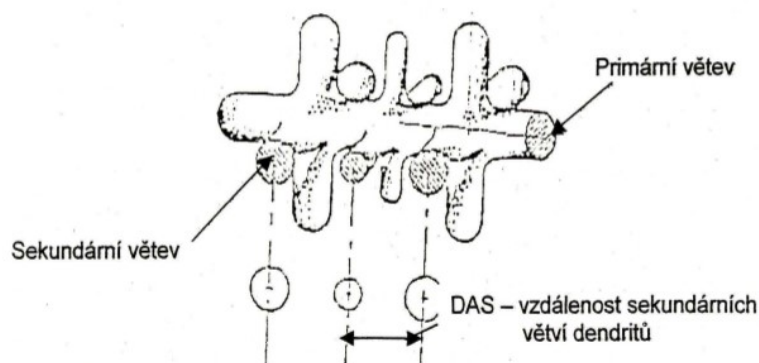
v intervalu tuhnutí. Čím kratší doba tuhnutí je, tím menší je hodnota DAS. Hodnota DAS se používá pro popis dendritické struktury, vyjadřuje vzdálenost sekundárních os dendritů. Modelový snímek dendritu lze pozorovat na obr. 13. [3], [9]

$$DAS = a \cdot t_f^n$$

a - konstanta závislá na slitině

n - konstanta rozmezí od 0,3 do 0,5

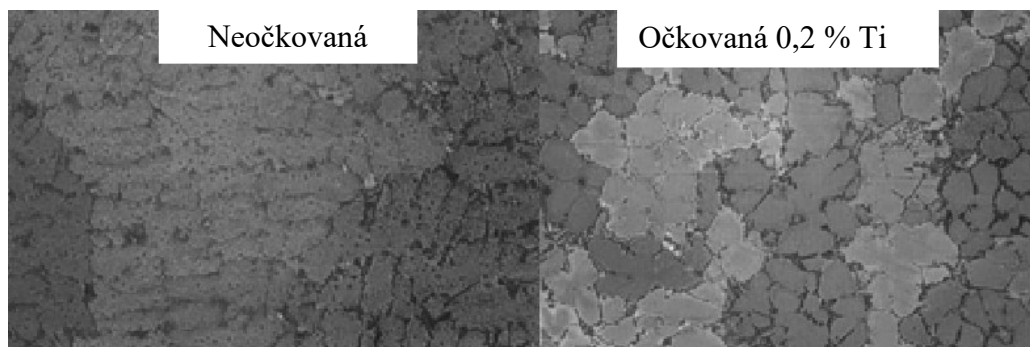
t_f - místní doba tuhnutí



Obr. 13: Model dendritu [2]

Očkovací slitiny se dodávají v tyčích o určené hmotnosti a běžných rozměrech \varnothing 10 mm a délce 500 mm. Tavič se řídí počtem tyčí na množství tekutého kovu. Očkovací soli se přidávají přibližně v 1 hm % vsázky ponořením zvonem ke dnu pánve. Ukázka zjemnění struktury slitiny AlSi7Mg po očkování je na obr. 14. Příznivým zjemněním zrna se dosahuje: [2], [9]

- Snížením sklonu slitiny ke vzniku trhlin
- Zvýšením pevnosti a tažnosti
- Menší pórovitostí odlitků
- Zvýšením těsnosti odlitků
- Lepší obrobiteľnosti
- Zlepšením kvality povrchu po anodické oxidaci
- Zvýšením vlastností po tepelném zpracování

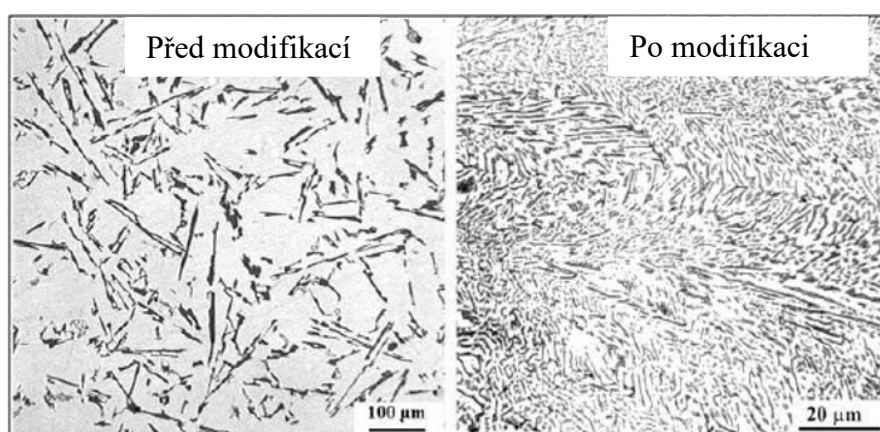


Obr. 14: Zjemnění struktury slitiny AlSi7Mg po očkování 0,2 % Ti [23]

9. Modifikace hliníkových slitin

Ze strukturních složek se modifikace týká pouze eutektika. Modifikace se provádí za účelem zjemnění eutektického křemíku přidáním předslitiny v tyčích, exotermických tabletách, patronách. Modifikační prvky snižují rychlost difúze křemíku v tavenině a jejich atomy blokují růstové stupně na rozhraní krystalů křemíku a taveniny. Tím se mírně zvyšují pevnostní vlastnosti, ale podstatně rostou vlastnosti plastické, tažnost, (až o 8%) a houževnatost. Modifikují se převážně eutektické slitiny s obsahem Si mezi 11,5 - 13 %. [23]

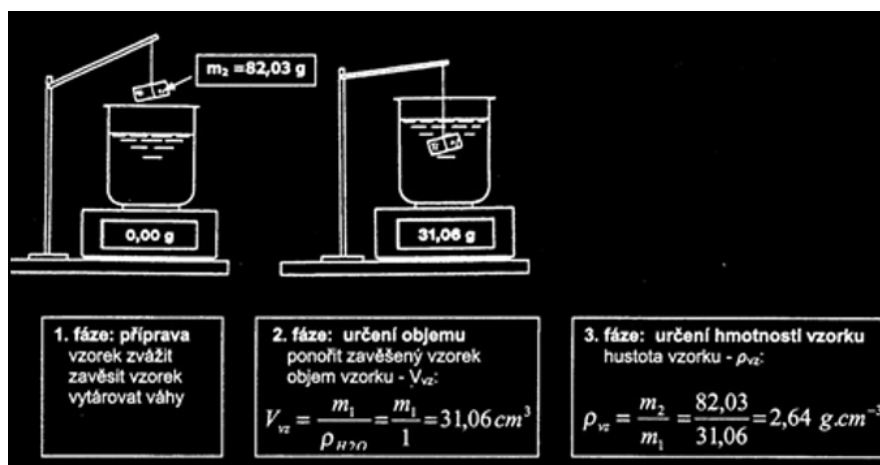
Modifikačními prvky jsou sodík, stroncium a výjimečně antimon. Kontrola modifikace se provádí chemickým rozbořem, termickou analýzou, metodou kontroly elektrické vodivosti a elektrochemickou metodou měření. Na obr. 15 lze vidět efekt výrazného zjemnění struktury modifikované slitiny AlSi₁₂, která má příznivý vliv na mechanické vlastnosti finálního výrobku. [9], [23]



Obr. 15: Zjemnění struktury modifikované slitiny AlSi₁₂ [9]

10. Kontrola taveniny

Uplatňují se měřicí metody naplynění taveniny, které je založeno na měření hustoty kovu metodou dvojího měření, kontrola chemického složení pomocí spektrometrie a termická analýza. Metoda dvojího měření je pro příklad následovně vysvětlena DI indexem hustoty (Dichte index). Principem metody je porovnání hustoty vzorku slitiny, který ztuhl při atmosférickém tlaku se vzorkem, který ztuhl za podtlaku (vakuum 8 kPa). Nejlepší výsledná hodnota Dichte Indexu je do 4%. Schéma metody dvojího měření je na obr. 16. [9]



Obr. 16: Schéma metody dvojího měření [9]

Výpočet metody dvojího měření je následující: [8]

1. Výpočet objemu vzorku: $V_{vz} = m_{vzH_2O} / \rho_{H_2O}$
2. Výpočet hustoty vzorku: $\rho_{vz} = m_{vzatm} / V_{vz} = (m_{vzatm} / m_{vzH_2O}) \cdot \rho_{H_2O}$
3. Z hustoty atmosférického tlaku $\rho_{vz \text{ atmosférický}}$ a vakua $\rho_{vz \text{ vakua}}$ se spočte Index hustoty:
$$DI - \text{Dichte Index} = (\rho_{vzatm} - \rho_{vzvaku}) / \rho_{vzatm} \cdot 100 (\%)$$

11. Odlévání hliníkových slitin

Pro odlévání hliníkových slitin se používají téměř všechny slévárenské metody. Struktura a vlastnosti slitin hliníku jsou závislé hlavně na intenzitě ochlazování při tuhnutí. Odlitky by měly být konstruovány jako tenkostěnné z důvodu příznivého rychlého ochlazení. Je nutné respektovat velkou pravděpodobnost oxidace tekutého kovu. Hliníkové slitiny se během tuhnutí stahují a mají sklon k tvorbě soustředěných nebo častěji rozptýlených staženin. Míra smrštění je v rozmezí 1,2 - 1,5 %. Pro zefektivnění výroby velkých sérií odlitků je

mnohem lepší využít trvalých forem namísto nejstaršího tradičního postupu gravitačního odlévání do formovacích směsí. [9], [2]

11.1 Metody odlévání pro menší produktivitu

11.1.1 Gravitační lití do pískových forem

Pískové formy na obr. 17 jsou netrvalé formy. Formovací směs těchto forem je složená z ostřiva, pojiva, přísad a vody. Ostřivem je nejčastěji SiO_2 , ale také Al_2O_3 nebo MgO . Zrnitost ostřiva bývá od 0,1 až 0,2 mm. Pojiva se používají anorganická (na bázi jílu, vodní sklo, cement, sádra) a organická (pryskyřice, tuky, oleje). Zpevnění formovacích směsí se provádí mechanicky. Pro představu použití této metody u slitin hliníku, je výhodou relativně nízká teplota lití, která se pohybuje v rozmezí 720 až 750 °C. Z toho vyplývají menší požadavky na žáruvzdornost formovacích směsí. [2], [9]



Obr. 17: Způsob lití do pískové formy [26]

11.1.2 Gravitační lití do skořepinových forem

Odlévá se do skořepinových forem vyrobených metodou vytavitelných modelů (např. z vosku). Tato metoda se používá zejména pro menší a tvarově náročnější odlitky. Materiálem skořepinových forem většinou bývá křemenná keramika. Formy se před litím vyhřívají na teplotu 200 - 300°C. Lze dosáhnout minimální tloušťky stěn okolo 0,5 mm. Odlitky jsou velice přesné. Odlévání do skořepinové formy znázorňuje obr. 18: [2]

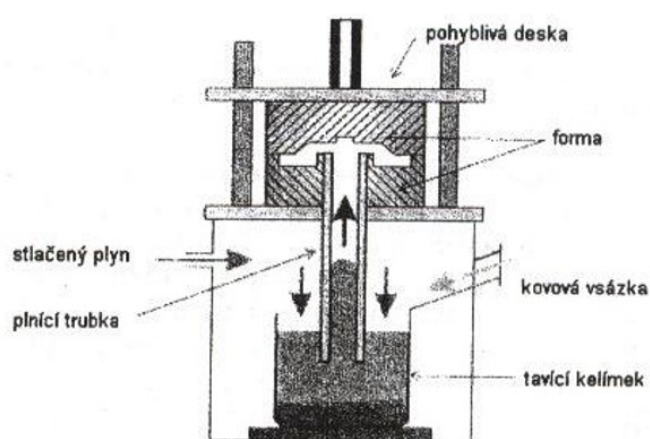


Obr. 18: Odlévání hliníkové slitiny do skořepinové formy [26]

11.2 Metody odlévání pro vysokou produktivitu

11.2.1 Tlakové lití

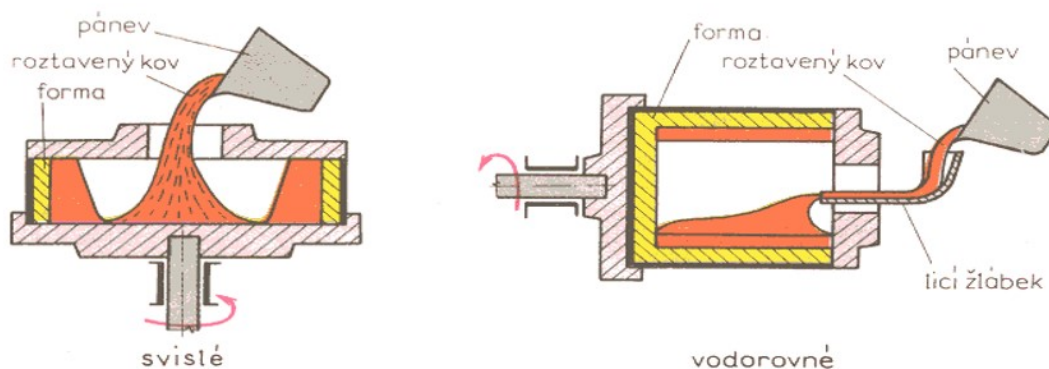
Nejproduktivnější technologie výroby hliníkových odlitků je lití za zvýšených dosazovacích sil tekutého kovu. Jedná se o vysokotlaké a nízkotlaké lití. Technologie výroby odlitků nízkotlakým litím s použitím tavicího kelímku je na obr. 19. Fungování technologie zajišťuje zvýšení tlaku nad hladinou kovu, díky kterému bude kov z kelímku vytlačován stoupací trubicí vzhůru do formy. Protože je ústí stoupací trubice ponořeno pod vrstvu oxidů a nečistot na hladině taveniny, bude do formy vstupovat pouze vysoce čistý kov. Spolehlivou metodu odlévání nízkotlakým litím uplatňují odlitky ráfků automobilových kol. [2], [23]



Obr. 19: Nízkotlaké lití a pec s kelímkem [2]

11.2.2 Odstředivé lití

Při odstředivém lití je roztavený kov naléván do rychle rotující, nejčastěji kovové nebo keramické formy, v které je odstředivou silou přitlačen na stěnu formy. Vlivem odstředivé síly je kov nucen se pohybovat proti a podél stěny formy a tímto se dosáhne těsného kontaktu mezi kovem a stěnou formy. Osa rotace může být vodorovná nebo svislá, obr. 20. Používá se hlavně na odlévání rotačních tvarů (válce, roury, ložiska). Výhodou je úspora jádra, odpadá vtoková soustava, výfuk a odlitky jsou hutné a bez bublin. [9]



Obr. 20: Odstředivé lití se svislou a vodorovnou osou rotace [32]

11.3 Speciální metody výroby odlitků

11.3.1 Odlévání s krystalizací pod tlakem - Squeeze casting

Málo rozšířená metoda lití do kovových forem, kde se kombinují výhody pomalého plnění formy a vysokého tlaku během tuhnutí. Principem přímého squeeze castingu je přesné odlití odměřené dávky kovu do spodní části formy, připomínající raznici. Kov se uzavře a stlačí se horní částí formy. Tlak působí po celou dobu tuhnutí. Principem nepřímého squeeze castingu je obdobné tlakové lití se studenou komorou. Významnou výhodou této pokrokové technologie je, že razantně zabraňuje vzniku vnitřních vad odlitků. Důvod je logický - dosazovaný kov se nachází již v polotuhém stavu, a proto již neobsahuje zbytkový plyn. Objemové změny při smršťování během ochlazování jsou rovnoměrnější a vnitřní vady typu staženin nejsou očekávány. Zavedení takové metody stojí za úvahu, protože navzdory složitějšímu a delšímu výrobnímu procesu pomáhá k menší zmetkovitosti budoucích odlitků a k růstu ekonomiky slévárny. Má své uplatnění například v automobilce Škoda Auto při výrobě bloků motorů třívalcových benzínových motorů. [2], [9]

12. Kontrola jakosti odlitků

- rozměrová kontrola
- zkoušky metalografické struktury
- zkouška mechanických vlastností
- zkouška fyzikálních vlastností
- nedestruktivní kontrola odlitků prozařováním a ultrazvukem
- penetrační zkoušky
- zkoušky těsnosti

13. Opravy vad odlitků

- impregnace odlitků
- izostatické lisování
- opravy zavařováním

14. Praktická část hodnocení kvality hliníkové slitiny AlSi9Cu3(Fe)

14.1 Tavení v šachtové plynové peci

Před finálním hodnocením odlitků poznávám náročný metalurgický proces. U šachtových pecí není nutné důsledně vsázet vsázku s odstraněnou vlhkostí, protože je již předeřívána v šachtě pece. Přesto se hliníkové housky a vratný materiál sázejí přednostně suché. Tavení předchází sázení hliníkových housek ze skipového výtahu do šachty pece Striko Westofen a jejich následným poklesem až k nístěji. Tento tavící agregát je používán zejména ve slévárnách slitin neželezných kovů, kde není nutná častá změna chemického složení taveniny, je nejefektivnější v kontinuálním režimu.

Tavení probíhá postupným rozpouštěním vsázky v tavící komoře. Současně je spaliny předeřívána vsázka v šachtě. Šachtová pec je dvounístějová s tavící komorou a nístějí, do které kontinuálně stéká kov. Teplota v pecním prostoru je 720 až 740°C. Případné dolegování je v šachtové peci obtížnější, proto se úpravy chemického složení provádí výhradně při dávkování vsázky. Analýza chemického složení je prováděna ve stanovených časových úsecích při kontinuálním tavení. Měření teploty je prováděno kontinuálně termočlánkem v ochranném pouzdře nebo ponorným termočlánkem před odpichem. Ošetření taveniny je prováděno mimopecním zpracováním v transportní pánvi. Na obr. 21a je vidět odpich tekutého hliníku a obr. 21b zobrazuje náhled na celou pec:



Obr. 21a: Odpich tekutého hliníku



Obr. 21b: Šachtová pec

14.2 Rafinace taveniny v pánvi za účelem odstranění vměstků a plynů

Po prvotním roztavení hliníkových housek v šachtové peci výroba pokračuje odpichem tekutého kovu do transportní pánve, která je ihned přesunuta vozíkem k odplyňovacímu zařízení FOSECO. Zdrojem plynu ve slitinách hliníku je vodík, protože je jediným rozpustným plynem v hliníku. Obsah vodíku závisí na druhu tavící pece a použitých vsázkových surovinách. Vzniká reakcí vody, tedy vlhkosti s roztavenou slitinou za vysokých teplot. Nežádoucí plyny způsobují vnitřní vady odlitků. Přípustný obsah vodíku zaleží na použité technologii (lití do písku, kokil, tlakově), na tloušťkách stěn (rychlosti tuhnutí) a na účelu použití odlitků. Obecně platí, že čím pomalejší je tuhnutí, tím vyšší je sklon ke vzniku bublin a tím dokonalejší musí být odplynění. Plynové póry mohou částečně nebo úplně nahrazovat úbytek kovu stahováním. Velmi silně odplyněná tavenina má silný sklon k tvorbě soustředěných staženin a vyžaduje důsledné nálitkování. Praktická část práce se nálitkováním nezabývá, protože technologie výroby odlitků tlakovým litím neumožňuje nálitkovat. [9]

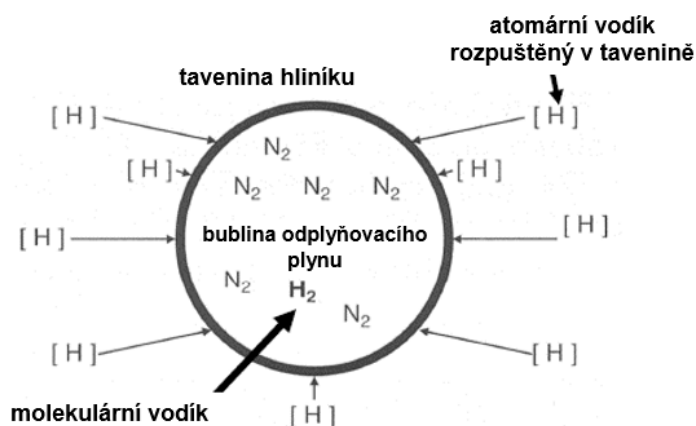
Pro zamezení vzniku vnitřních vad odlitků je nutné obsah H snížit pod úroveň 0,2 (někdy až pod 0,1) $\text{cm}^3/100\text{g Al}$. Obvykle se obsah H pohybuje v rozmezí od 0,2 do 0,8 $\text{cm}^3/100\text{g Al}$. Snížení obsahu plynů slitiny AlSi9Cu3(Fe) se provádí probubláváním taveniny inertním argonem. Snížení obsahu plynů v Al slitinách probubláváním taveniny předpokládá difúzní princip vodíku obr. 22. Difúze je způsobena rozdílem parciálních tlaků v bublině odplyňovacího plynu a okolí, ve kterém je vodík. [36]

Otáčivý pohyb rotoru odplyňovacího zařízení obr. 23. napomáhá k lepšímu promíchání, rafinaci taveniny a celkovému zkrácení odplyňovacího cyklu. Hlavy rotoru jsou konstruovány

tak, aby vytvářely velmi malé bublinky, které se lépe rozprostřou po celém objemu pánve. Bubliny s nulovým parciálním tlakem H jsou následně vynášeny na hladinu. Malá velikost bublin, jejich dostatečná dráha s vytvořením u dna pánve a optimální promíchávání (homogenizace) taveniny jsou klíčové pro podmínky účinného odplynění. Argon se používá s čistotou 99,99% z důvodu minimálního obsahu vlhkosti. Na obr. 24 je vidět rotační odplyňovací zařízení FOSECO. [9], [23]

Podstata převedení atomárního vodíku na molekulární vyjadřuje rovnice:

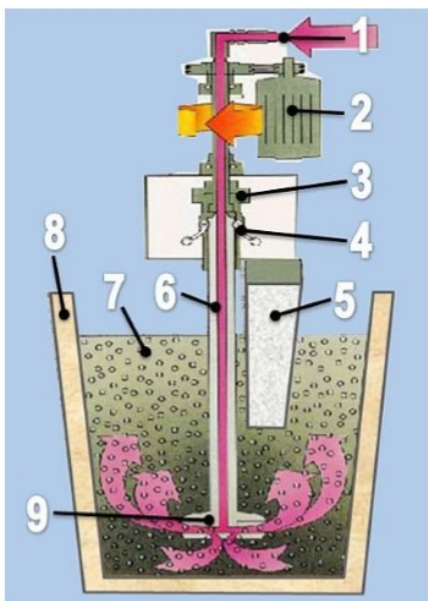
$$[H]_{Al} = \frac{1}{2} \{H_2\}_p$$



Obr. 22: Difúze vodíku z taveniny do bubliny dusíku [9]

Podstata funkce odplyňovacího zařízení:

1. odplyňovací plyn argon
2. motor
3. příruba mezi dutým hnacím hřídelem a hřídelem rotoru
4. rychlospojka
5. nárazová deska zabraňující víření hladiny
6. grafitový rotor
7. hliníková tavenina
8. pánev
9. grafitová hlava rotoru



Obr. 23: Vyplouvání vodíku [32]



Obr. 24: Rafinace taveniny argonem

K vyčištění 600 kg hliníkové slitiny je dle praktických zkušeností technologa nutné nastavit odplyňovací stroj na rychlost rotoru 450 otáček/min s délkou cyklu 4 minuty a průtokem argonu 16litrů/min. Kritéria nastavení odplyňovacího zařízení jsou:

- velikost a tvar pánve
- hloubka mezi rotorem a dnem kelímku
- pozice rotoru a rychlost rotoru
- délka odplyňovacího cyklu
- velikost hlavy rotoru dle velikosti pánve
- rychlost průtoku odplyňovacího plynu

14.3 Metalurgické operace v udržovacím agregátu

Po rafinaci taveniny v pánvi přihlížím, jak se převáží k udržovací elektricky odporové vanové peci. Pánev s tekutým kovem se následně přelije do vany pece. Elektrická odporová pec slouží pro udržování teploty taveniny před litím a zaručuje neustálou zásobu tekutého hliníku pro tlakový lící stroj. Teplota je udržována pomocí odporových topných článků SiC nad hladinou kovu v rozmezí $\pm 1K$. Předpokládá se přesné chemické složení z tavicí pece, ale po odklopení víka pece je možné legovat a ošetřovat hladinu roztaveného kovu. Tavenina se v této peci minimálně naplyňuje s minimálním propalem prvků. Na obr. 25a je vidět udržovací pec MARCONI a tlakový lící stroj ITALIAN PRESS a na obr. 25b keramickou naběračku:



Obr. 25a: Vanová pec s licím strojem

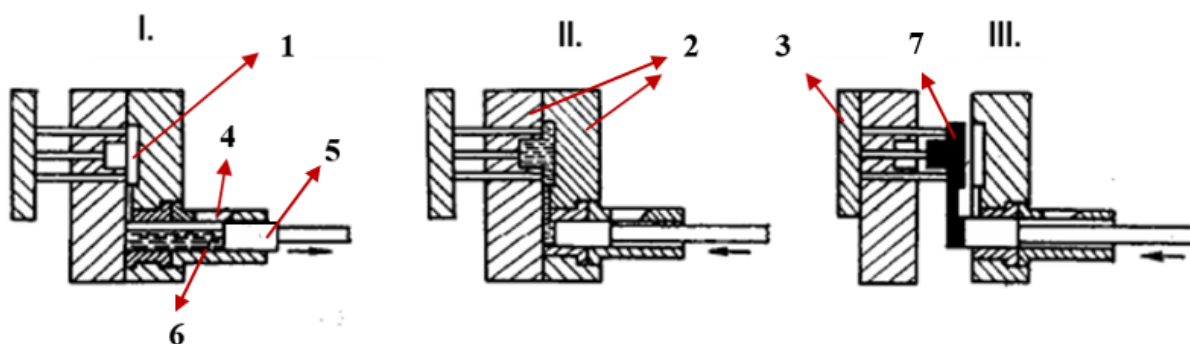


Obr. 25b: Keramická naběračka

14.4 Technologie vysokotlakého lití

Samotné odlití sledovaných odlitků je rychlý proces. Z udržovací vany pece je tavenina kontinuálně nabírána keramickou naběračkou, přelita do plnicího otvoru a pod tlakem pístu 350 až 400 barů dosazována do dutiny formy. Pro zvýšení čistoty taveniny slévárna používá při lití keramické filtry. Tavenina ve formě rychle tuhne a rychlost ochlazování je velmi důležitá, protože ovlivňuje budoucí mechanické vlastnosti odlitku převodové skříně. Největší ochlazovací účinek zajišťuje voda pomocí složitých rozváděcích kanálků a koncová část pístu (raznice) z beryliového bronzu.

Od naplnění formy tekutým hliníkem po jeho ztuhnutí a otevření formy uplyne podle velikosti odlitku přibližně 85 vteřin. Po vyjmutí odlitku se odstraní vtoková soustava a přebytečné odtoky pomocí stříhacího lisu. Dále se odlitek ochladí ve vodě a je ihned položen na místo první vizuální kontroly. Odlévání odlitků na licím stroji Italian Press obr. 26:



Obr. 26: Schéma odlévání odlitků na licím stroji Italian Press [30]

(1 - dutina formy; 2 - forma; 3 - vyhazovací deska; 4 - plnicí otvor; 5 - plnicí píst; 6 - dávka slitiny; 7 - odlitek)

14.4.1 Princip tlakového lícího stroje se studenou komorou

Základní princip lícího stroje a pracoviště pro lití kovu pod tlakem musí obecně svým konstrukčním uspořádáním zajistit tyto základní funkce:

- bezpečné uzavření dvoudílné formy
- vstříknutí kovu do formy nastavitelnou rychlostí a seřiditelným tlakem
- tuhnutí odlitku v nastaveném čase
- otevření formy
- vytažení jader
- vyjmutí odlitku z formy

Uzavírací mechanismus je proveden horizontálně, takže dělicí rovina formy je svislá. Samotné vstřikovací ústrojí je vertikální. Pohon je hydraulický, ovládaný ventily a šoupátky. Automatický chod stroje je zajišťován CNC řídicí jednotkou. Uzavření lící formy musí být dokonalé, aby bylo dosaženo rozměrových parametrů odlévaného odlitku a zabránění vystříknutí kovů z dělicí roviny. [30]

U lícího stroje Italian Press je toto plnění zajištěno automatickou plnicí naběračkou a zároveň je kontrolována taktéž teplota nalévaného kovu. V případě nedodržení tolerance nastavené teploty dávkovací zařízení signalizuje nedodržení pracovních podmínek a samotný proces vstříknutí tekutého kovu není realizován. Roztavený kov je úderníkem, který je pevně spojený s hydraulicky ovládaným pístem, vtlačén do dutiny formy rychlostí hydraulického škrtiče na 5 m.s^{-1} . Teplota lití se pohybuje od 680 až 700°C s. Tepelné zpracování odlitků se neprovádí. Odlitek převodové skříně po vyjmutí z formy obr. 27.



Obr. 27: Odlitek spodní části převodové skříně

Výhody tlakového lití: [30]

- vysoká produktivita výroby použitím trvalých kovových forem a jader, (až 150000 odlití)
- vyššími vstřikovacími tlaky a rychlostí pístu se dosahuje lepší vnitřní struktury odlitku
- kvalitní jakost povrchu odlitků
- možnost výroby odlitků přesných rozměrů s dosažením finálních nefunkčních ploch odlitku
- dosažení potřebných tvarových rozměrů otvorů
- možnost výroby tenkostěnných odlitků
- využití odpadového materiálu jako další vsázky pro tavící pec
- maximální využití tekutého kovu na jeden odlitek

Nevýhody tlakového lití: [30]

- výhodné pouze pro velkosériovou výrobu
- vysoké zřizovací náklady licích pracovišť a licích forem
- velikost odlévaných odlitků je omezena velikostí forem podle typu licího stroje
- technická a technologická náročnost výroby
- roztavený kov oxiduje a může být znečištěn při nalévání do licí komory nebo v komoře
- kov se ochladí v komoře před vstřelením
- určitá míra pórovitosti vyráběných odlitků

Pomocná zařízení tlakového licího stroje

- udržovací pec tekutého kovu a dávkovací zařízení
- zařízení pro ošetřování formy
- manipulační zařízení pro vyjímání odlitků
- zařízení pro zchlazení odlitku
- ostříhovací lis
- stanoviště pracovníka první vizuální kontroly odlitků

Související vlivy na kvalitu odlitků: [30]

- teplota slitiny, licí komory, formy
- rychlost stlačení během licího cyklu
- měrný tlak na taveninu
- doba plnění formy
- doba ponechání odlitku ve formě
- proces chlazení odlitku

Úvahou vylepšení procesu tlakového lití a omezování porezity je zavedení tlakového lití s lokálním dotlakem razníků. Kvalita odlitků s lokálním dotlakem vylepšuje vnitřní strukturu a vady jsou téměř omezeny. Použití takové technologie je nákladnější, technologicky složitější a přistupuje se k ní s ohledem na použití a životnost budoucího odlitku. Nutno však přiznat, že i takový odlitek nemusí být vždy zcela bez vad.

14.4.2 Metody kontroly kvality odlitků ve slévárně dodavatele

Vizuální kontrola odlitků je první základní kontrola po odlití a dále se provádí při čištění některých odlitků s vážnějšími nedostatky povrchu, po tryskání odlitků automatickým tryskacím strojem s ocelovými kuličkami průměru 1 mm (shot peening), při náhodné rentgenové kontrole a při kontrole v měřicí laboratoři před měření na 3D souřadnicovém stroji.

Rozměrová kontrola na 3D souřadnicovém měřicím stroji se vyhodnocují vzdálenosti, rovinnosti ploch, průměry děr, jejich kruhovitosti, válcovitosti a poziční umístění dle výkresových tolerancí od nastaveného nulového bodu osy rotace odlitku.

Zkoušky rentgenovým zářením pomáhají objasňovat vnitřní vady odlitků. Hliníkové slitiny pohlcují RTG záření jen málo, proto stačí 80 kV pro materiál do tloušťky 40 mm, 110 kV do 100 mm tloušťky.

Zkoušky struktury rentgenovým zářením využívají toho, že RTG paprsky při průchodu krystalickou mřížkou interferují. Z rozložení obrazu se pak dá stanovit, zda je materiál žíhaný, tvářený, stupeň rekrystalizace a velikost zrna.

15. Metody kontroly kvality dodaných odlitků na obrobně

15.1 Postup kontroly kvality ve skladu

Kontrola odlitků začíná převzetím dovezených kusů od dodavatele v přijímacím skladu haly převodovkárny. Dovezené kusy jsou v ocelových boxech a operátor kontroly provádí vizuální kontrolu vrchních kusů, typů odlitku podle číselného značení a potvrdí předávací protokol svým razítkem. Zároveň si bere náhodný kus z každého typu odlitku do laboratoře na proměření rozměrů na 3D měřicím zařízení. Pokud jsou měřicí reporty vyhodnoceny v tolerančních rozměrových mezích, odlitky jsou schváleny k obrábění. Výsledek měření je uložen na oddělení kvality, zároveň má výsledky ihned k nahlédnutí oddělení výroby.

Následně jsou ocelové boxy dováženy podle výrobního plánu k nakládacímu dopravníku. Odlitky jsou před naložením vizuálně kontrolovány operátorem, kontroluje se typ odlitku a důležité části odlitků pro uchycení v obráběcím stroji, tzv. dorazy. Praxe je taková, že

se naloží na dopravník tři náhodné kusy, následně se odlitky obrobí, vizuálně zkontrolují, a proměří na 3D měřícím zařízení Zeiss. Pokud jsou všechny výsledky v toleranci, začíná sériová výroba.

15.2 Postup kontroly kvality obrobených odlitků

Po obrobení odlitků procházejí myčkou a pokračují na zkoušku těsnosti tlakovým médiem tzv. leak testem. Odlitky jsou následně automaticky ukládány do skladu a při jejich vyskladňování na vozík probíhá jejich vizuální kontrola. Během výroby se proměřují každých 45 minut náhodné kusy 3D měřícím zařízením a taky manuálně na stanici SPC, kde se provádí kontrola posuvnými měřidly, závitníky, hloubkoměry a dutinoměry. Principem měření děr je měřidlo kruhového tvaru, které pomocí vzduchového polštáře vyhodnocuje rozměry a přenáší výsledky na monitor. Výsledkem měření je sloupec a v něm zobrazena naměřená hodnota díry. Pokud vychází toleranční sloupec v zelené barvě je naměřená hodnota v toleranci. Celková produkce obrobených odlitků je přibližně 500 kusů za směnu.

V případě naměřených hodnot na hranici toleranční pole, je ihned provedena korekce na CNC strojích a je opětovně změřen další kus. V případě naměření závažnějších odchylek mimo toleranci, jedná se o důležité průměry, pozice umístění děr pro hřídele, řadící vidličky a rozměry odlitku je zastavená výroba a další poslední vyrobené kusy od předešlého proměření s výsledky v tolerančním poli musí být vytrženy a kompletně vizuálně vyhodnoceny a změřeny na 3D Zeiss.

15.3 Materiálové vlastnosti slitiny EN AC - AlSi9Cu3(Fe)

Ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) je tlakovým litím vyráběna řada součástek v automobilovém průmyslu. Tyto odlitky jsou tvarově náročné a jsou na nich kladeny vysoké požadavky z hlediska jakosti a mechanických vlastností. Jedná se o univerzální slitinu s velmi dobrou slévateľností, zvláště vhodná pro tlakové lití. Má malou tendenci k vytváření povrchových defektů a ke vzniku vnitřních staženin. Má taky dobrou obrobiteľnosť, ale špatnou svařitelnosť. Materiálové vlastnosti jsou následující: [8], [29]

- pevnost v tahu R_m 160 - 200 MPa
- mez kluzu $R_{p0,2}$ 50 - 150 MPa
- mezní protažení A_{50} 1 - 3%
- tvrdost 65 - 90 HB
- elektrická vodivost 13 - 27 MS/m
- tepelná vodivost 110 - 120 W/m. °K

- obrobitelnost dobrá
- svařitelnost špatná

16. Seznam nejčtenějších nalezených slévárenských vad odlitků

Plynové bubliny - většinou vznikají přebytkem vzduchu a vodíku v tavenině. Povrch je zpravidla čistý, hladký a okysličený. Jsou to otevřené nebo uzavřené dutiny ve stěně odlitku.

Staženiny - smršťování je rozměrová změna, ke které dochází při chladnutí odlitku ve formě pod teplotou solidu. Jsou to otevřené nebo uzavřené dutiny ve stěně odlitku. Povrch je zpravidla méně hladký dokazující větší vzdálenost sekundárních větví dendritů (parametr DAS).

Porezita - kombinace plynové bubliny a staženiny. Je příčinou nejčtenější neshodné a zároveň nepřípustné povrchové a vnitřní vady odlitků.

Je podrobně analyzována v další části.

Zatekliny - výčnělky různých tvarů a velikostí na odlitku v mezerách mezi jednotlivými částmi formy.

Výpotky - drobné vrstvičky a kapky, typické pro slitiny neželezných kovů. Jejich příčinou bývá zvýšený obsah plynů v tavenině.

Řediny - místní nahromadění malých staženin projevujících se zřetelně hrubozrnnou a řídkou strukturou kovu.

16.1 Analýza nejčtenější neshody hodnocených odlitků - vnitřní vady odlitků

Základem úspěchu ve snižování neshodných výrobků je vadám v odlitcích předcházet a vytipovaná místa, kde by se mohly potenciální vady vyskytnout, technologicky ošetřit takovým způsobem, aby ke vzniku vad nedošlo. Dnes se k těmto úkonům často používají počítačové simulační programy, které o predikci vad hodně napoví. Avšak někdy i dokonale zvládnutý technologický postup vzniku odlitku neznamena záruku kvalitní výroby, protože slévárnictví je proces, do něhož vstupuje celá řada náhodných vlivů a parametrů. Ať už se jedná o materiály trvalých forem, vstupní suroviny, proces tavení, odlévání, tepelného zpracování, dodržení technologického postupu, technologické kázně ve slévárně. Obecně vady odlitků ze slitin hliníku vznikají převážně v souvislosti s těmito technologickými faktory [8]:

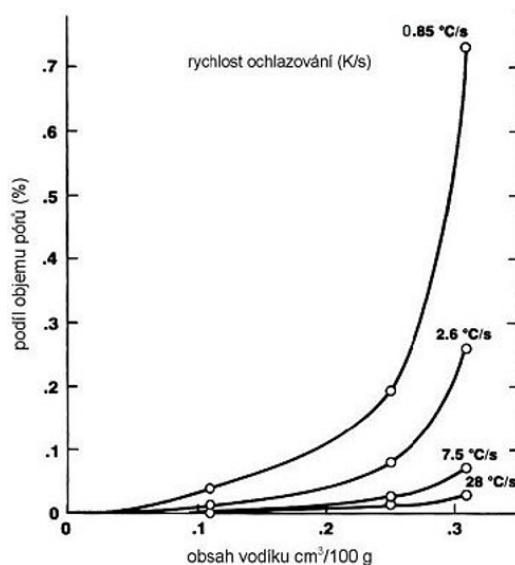
- zabíhavost slitiny
- sklon k naplynění taveniny
- sklon ke vzniku plynových dutin v odlitcích
- sklon ke vzniku soustředěných staženin nebo ředin
- sklon ke vzniku trhlin

16.1.1 Vliv rychlosti ochlazování na vnitřní typy vad

Při ochlazování roztaveného siluminu dochází ke snižování rozpustnosti plynů. Nejvýznamnějším nežádoucím plynem je zbytkový vodík, který je tvořen až 97% z celkového obsahu plynů. Vodík také vzniká z vodní páry podle rovnice: $2 \text{ Al} + 3 \text{ H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{ H}_2$. Tvar a poloha pórů ve struktuře kovů závisí zejména na morfologii tuhé fáze, na obsahu plynů a na rychlosti tuhnutí. Pokud je v tavenině vysoký obsah plynů, tvoří se plynové dutiny převážně kulovitěho tvaru již při nízkém podílu ztuhlé fáze. Při pomalém tuhnutí difunduje vodík do bublin na poměrně velké vzdálenosti a vznikají tak velké bubliny, které nemají téměř žádnou vazbu na krystalickou strukturu kovu. Při rychlém postupu krystalizační fronty se bubliny brzy obalí vrstvou tuhé kovu, aniž by mohlo difuzí vodíku v tavenině dojít k jejímu dalšímu růstu. Výsledkem je vznik malých kulovitých nebo protáhlých bublin, uzavřených v mezidendritických prostorech kovu - tzv. mikrostaženin. Čím širší je dvoufázové pásmo, tím více se uplatňuje vznik mikrostaženin [9].

Při reálné rychlosti tuhnutí nedojde ke snížení obsahu vodíku až na rovnovážnou hodnotu rozpustnosti v tuhém stavu. Část vodíku zůstává v kovu v podobě přesyceného tuhé roztoku. Čím rychlejší je ochlazování, tím větší je přesycení tuhé kovu, vyloučí se méně plynného vodíku a tím menší je pórovitost obr. 28. Z tohoto důvodu jsou na vznik plynových dutin více náchylné silnostěnné odlitky lité do pískových forem, než odlitky tenkostěnné a odlitky lité do kovových forem [9].

Pro slitiny hliníku je typický rozdíl rozpustnosti vodíku v tuhém a v tekutém stavu. Množství rozpuštěného vodíku v tuhém stavu při teplotě 660°C dosahuje v hliníkové slitině rozpustnost 0,036 cm³/100g, přičemž v roztaveném kovu je rozpustnost 0,77 cm³/100g. Při překročení meze rozpustnosti vodík z taveniny uniká buď difuzí, nebo ve slitině vytváří plynové dutiny. [2], [8]



Obr. 28: Závislost vodíku a rychlosti ochlazování na objem pórů [9]

16.2 Porezita jako nejrozsáhlejší nepřijatelná vada

Porezita bývá způsobena kombinací tvorby mikrostaženin a bublin. V případě, kdy převažuje mechanismus vzniku bublin, mají póry více kulovitý tvar, pokud převažuje mechanismus mikrostaženin, jsou dutiny tvarově členité a kopírují dendritickou stavbu kovu. Možné typy vnitřních vad jsou na obr. 29a, 29b, 29c.

Porezita zhoršuje celou řadu užitečných vlastností hliníkových odlitků [8]:

- pevnostní vlastnosti
- únavové vlastnosti
- póry jsou iniciačními místy pro vznik únavových lomů
- těsnost
- pronikání tlakového média stěnou odlitku je častou příčinou nekvalitních odlitků
- povrchovou úpravu odlitků.

Porezitu vyjadřuje vztah:

$$P = \frac{S_p}{S_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

P - porezita

S_p - plocha pórů na zjišťované oblasti

S_o - plocha odlitku zjišťované oblasti



Obr. 29a) mikrostaženina [9]

Obr. 29b) plynová bublina [9]

Obr. 29c) porezita [9]

16.2.1 Zákonitosti vzniku porezity

Hlavními zdroji vodíku při tavení hliníkových slitin jsou vlhkost vsázky a atmosféra v peci. Vodík však může být vnášen do taveniny i ze spalín plynových pecí, při jejichž provozu vznikají uhlovodíky, které mohou být po disociaci dalším zdrojem vodíku. Příčinou vzniku vodíkových bublin je nedokonalá rafinace a vysoký stupeň naplynění taveniny. Porezita vzniká během tuhnutí odlitku při prudkém snižování rozpustnosti vodíku. Závislost naplynění hliníkové taveniny na relativní vlhkosti, teplotě taveniny, parciálním rovnovážném tlaku ukazuje obr. 31. [2], [9]

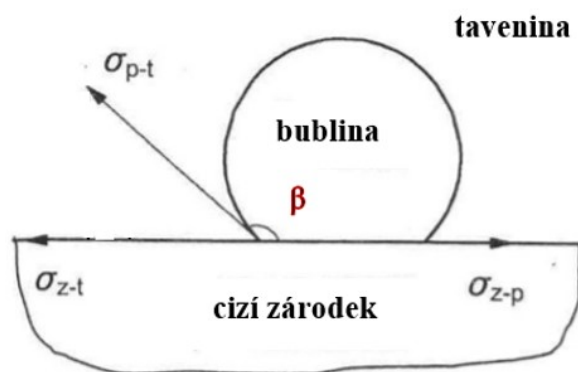
Podstatou vzniku nukleačních zárodků bublin jsou částice, které jsou hydrofobní (nesmáčivé) s taveninou obr. 30. Hodnota povrchového napětí mezi zárodkem a taveninou σ_z - t je v tomto případě malá a úhel $> 90^\circ$. Toto kritérium je splněno výhradně u oxidů, které jsou četnými nukleačními zárodky bublin. [2] Vztah mezi povrchovým napětím, hydrofilní reakcí cizího zárodku a bubliny vyjadřuje vztah pro kontaktní úhel β dle obr. [9], [31]

$$\cos \beta = [(\sigma_{z-t} - \sigma_{z-p})] / \sigma_{p-t} \quad [^\circ]$$

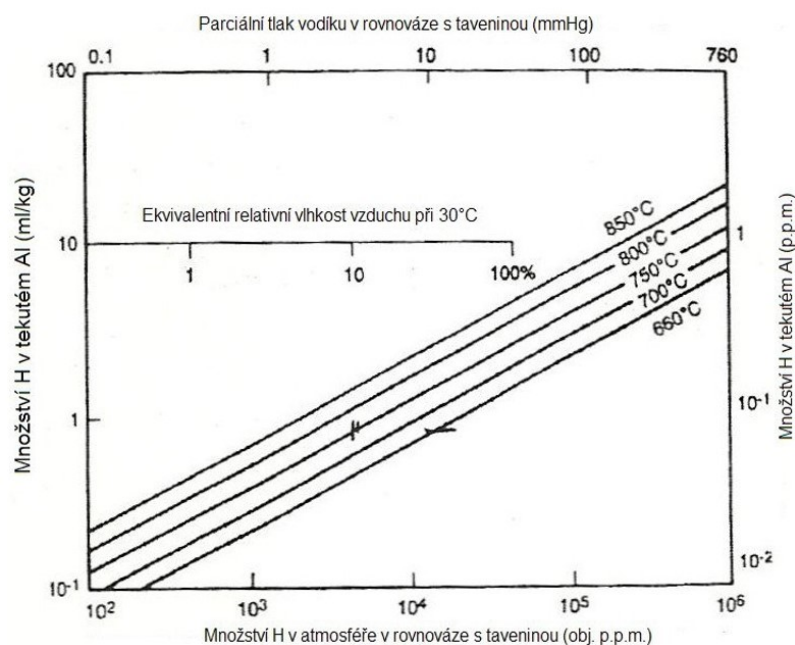
σ_{z-t} - povrchové napětí mezi zárodkem a taveninou [Pa]

σ_{z-p} - povrchové napětí mezi zárodkem a plynem [Pa]

σ_{p-t} - povrchové napětí mezi plynem a taveninou [Pa]



Obr. Vznik bubliny na cizím zárodku [10]



Obr. 31: Závislost naplynění hliníkové taveniny vodíkem na relativní vlhkosti, teplotě taveniny a parciálním rovnovážném tlaku pro konkrétní teploty [31]

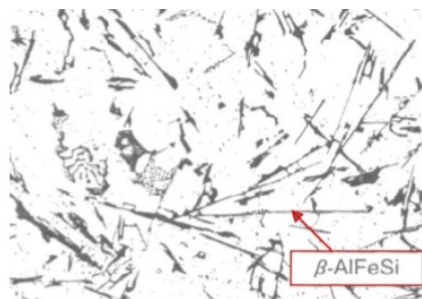
Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím množství rozpuštěného vodíku v tavenině je teplota roztaveného kovu. Platí, že se vzrůstající teplotou se rozpustnost zvyšuje. Je tedy nežádoucí taveninu zbytečně přehřívat. Pokud je v tuhém kovu rozpuštěno větší množství vodíku, než odpovídá rovnovážné hodnotě rozpustnosti, označuje se tento stav jako přesycený tuhý roztok. Tvarové hledisko póru ve struktuře je závislá především na morfologii tuhé fáze, na rychlosti tuhnutí a obsahu plynu (udává se, že čistě plynové póry u hliníkových slitin vznikají při obsahu vodíku vyšším než 0,4 cm³/100g). Čím více je v tavenině plynu, tím více se tvoří

plynové dutiny kulovitého tvaru a to již při nízkém podílu ztuhlé fáze. Vliv rychlosti ochlazování je patrný na první pohled. [2]

Při pomalém tuhnutí difunduje vodík do bublin na relativně velké vzdálenosti a z toho důvodu se utváří velké bubliny. Naopak pokud postupuje krystalizační fronta rychle, bubliny jsou obalovány vrstvou tuhnoucího kovu velmi stěžující, resp. zabraňující difúzi, a tím pádem omezující následný růst bublin. Výsledný stav se podobá malým kulovitým či protáhlým bublinám (typický případ tlakového lití). Vliv na množství a rozmístění pórů mají rovněž očkování a modifikace taveniny. U hodnocených odlitků se modifikace ani očkování nepoužívá, proto mají snahu tvořit soustředné větší dutiny. Naopak modifikované a očkované taveniny mají snahu tvořit rozptýlené mikrostaženiny. [8], [30], [31]

16.2.2 Kritický obsah železa ve slitině

U slitiny AlSi9Cu3(Fe) se projevuje kritický obsah železa, nad kterým se zvětšují houbovitě defekty pórovitosti. Ukázalo se, že kritický obsah železa je 0,7 % hmotnostního podílu, což odpovídá tuhnutí ternárního eutektika AlFeSi. U kritického obsahu železa se ukázalo, že koncentrace Fe roste při rychlejší chladnutí. Destičky β - AlFeSi obr. 32 fyzicky blokují průtok dosazovaného likvidu v mezidendritických oblastech, což usnadňuje vznik pórovitosti. [9]



Obr. 32: Destičky ternárního eutektika β -AlFeSi [19]

16.2.3 Úvaha omezení vnitřních vad odlitků modifikací sodíkem

Hodnocená slitina AlSi9Cu3(Fe) žádnou modifikací nepoužívá. Při modifikaci hliníkové slitiny stronciem se ukázalo, že zvyšuje obsah pórovitosti u odlitků ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) a odlitky modifikované antimonem vykazovaly pórovitost na podobných úrovních, jako nemodifikované slitiny. Zatímco modifikace sodíkem produkovala menší množství pórovitosti v porovnání s nemodifikovanými slitinami. Možnost vylepšení slitiny sodíkem stojí za úvahu, ale muselo by se to ověřit praktickými zkušenostmi pro určité sledované období. Možné zavedení této technologie je taky závislé na sledování indexu spokojenosti kvality od zákazníka. V případě

poklesu reklamací za neshodné a nepřijatelné vnitřní vady odlitků by byla možnost modifikace sodíkem taky ekonomicky výhodná. [31]

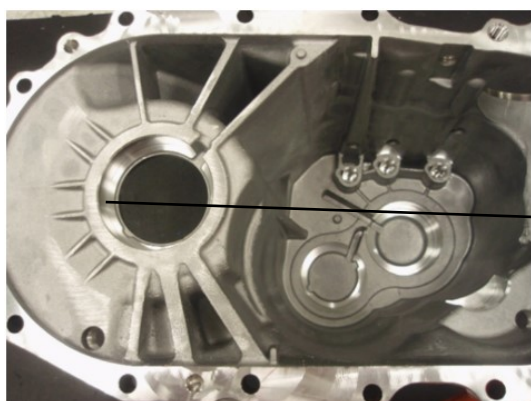
17. Definování vad hodnocených odlitků automobilů Hyundai

17.1 Analýza neshodných odlitků a zároveň nepřijatelných vad

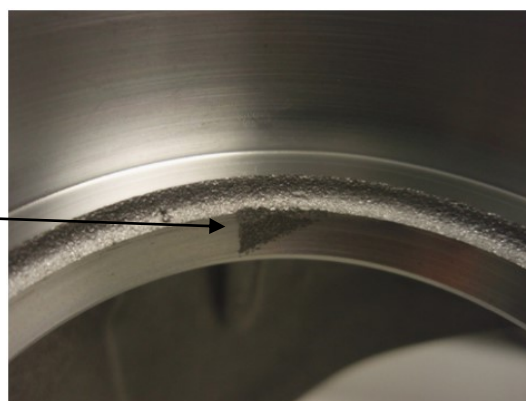
Vada č. 1 patří do třídy vad 100 - vad tvaru, rozměrů a hmotností, skupiny vad 112 - nedolití. Nachází se na vrchním krytu převodové skříně pro dieselový motor A. Typem odlitku je Case A. Vada je v důležitém průměru a je neopravitelná. Nebyla by dodržena potřebná tolerance v díře a těsnost spoje. Tento odlitek je vrácen dodavateli. Celkový pohled na sledovaný odlitek je na obr. 33a, detailní pohled na vadu je na obr. 33b. [33]

U konkrétního dílu je pravděpodobný nedostatek kovu, který měl vyplnit celou dutinu formy. Podrobným popisem lze tuto vadu vysvětlit nedostatkem nalitého kovu do plnicí komory s různými možnostmi příčiny, jako přechodu odlévání na jiný typ odlitku, předčasného zkrácení dosazovacích sil pístu nebo technického problému na automatickém licím stroji Italian Press.

Názor dodavatele vyjadřuje také možnost mechanického poškození odlitku při vyjímání z formy, manipulaci ve slévárně nebo při dopravě odlitku. Možným opatřením proti vzniku takových vad je kontrola aktuálních odlévaných typu odlitků, hmotnosti dosazovaného kovu do plnicí komory, dosazovacího tlaku, doby dotlaku pístu, lící teploty, chemického složení, čistoty vtokových soustav, formy, jádra a celkového technického stavu lícího stroje včetně správného chlazení během procesu výroby odlitků.



Obr. 33a: Sledovaný odlitek

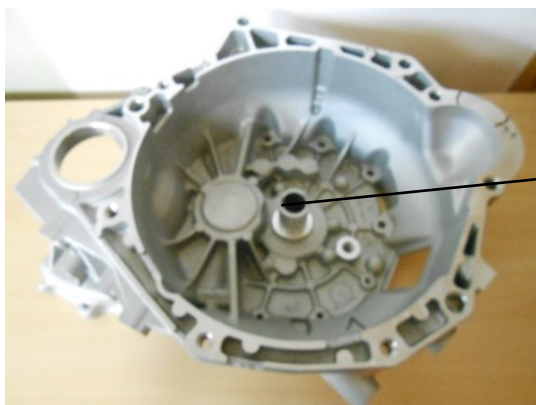


Obr. 33b: Detail vady

Vada č. 2 patří do třídy vad 100 - vad tvaru, rozměrů a hmotností, skupiny vad 112 - nedolití. Nachází se na spodním krytu převodové skříně pro benzínový motor C obr. 34a s typem odlitku Housing C. Vada je na horní ploše příruby označené šipkou obr. 34b, kde lze vidět nedostatek materiálu pro nutné obrobení. Nebyl dodržen potřebný rozměr. Tento odlitek je vrácen dodavateli. [33]

Častou příčinou takové vady je nedostatek nalitého kovu do plnicí komory v důsledku přechodu odlévání na jiný typ odlitku, předčasného zkrácení dosazovacích sil pístu nebo technického problému na automatickém licím stroji Italian Press.

Možným opatřením vzniku takových vad je kontrola aktuálních odlévaných typu odlitků, hmotnosti dosazovaného kovu do plnicí komory, dosazovacího tlaku, doby dotlaku pístu, lící teploty, chemického složení, čistoty vtokových soustav, formy, jádra a celkového technického stavu lícího stroje včetně správného chlazení během procesu výroby odlitků.



Obr. 34a: Zkoumaný odlitek

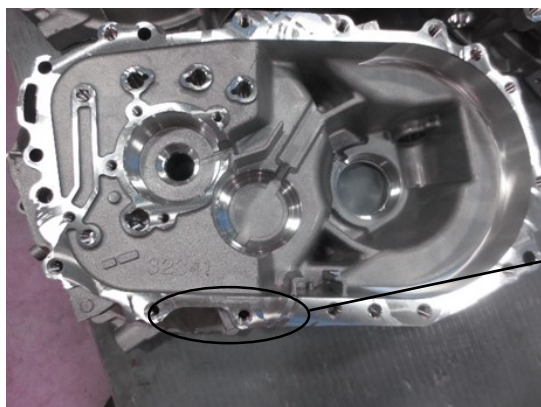


Obr. 34b: Detail vady

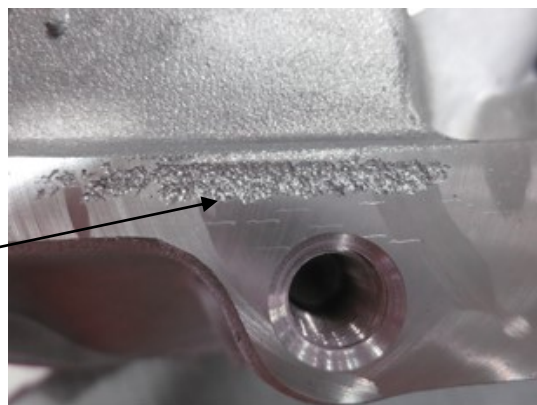
Vada č. 3 pravděpodobně patří do třídy vad 200 - vad povrchu, skupiny vad 234 - eroze. Nachází se na rovinné ploše spodního krytu převodové skříně pro naftový motor B s typem odlitku Housing B. Tato vada je neopravitelná a způsobila by netěsnost spojení obou skříní převodovky a únik oleje. Tento odlitek je vrácen dodavateli. Celkový pohled na sledovaný odlitek je na obr. 35a, vada s detailem je vidět na obr. 35b. [33]

U konkrétního dílu je pravděpodobné mechanické rozrušení povrchu odlitku jako následek působení tekutého kovu na stěnu opotřebované formy, překročení doporučené výměny forem a jader. Konkrétní ocelové formy jsou dimenzovány na 150000 odlití. Teoretickým opatřením proti vzniku těchto vad je zaručení požadované jakosti povrchu ocelových forem pravidelnou vizuální kontrolou, snížení rychlosti plnění roztaveného kovu, použití správného

dávkování a složení ochranné emulze forem před litím a udržování lící teploty kovu na spodní hranici tolerance.



Obr. 35a: Sledovaný odlitek



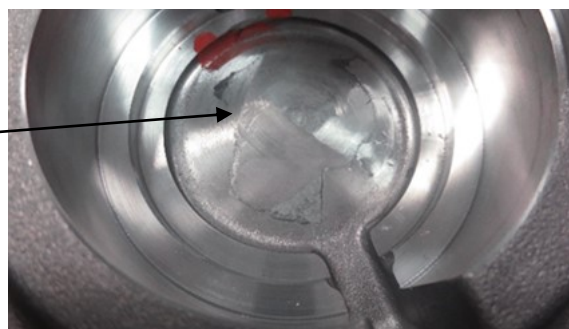
Obr. 35b Detail vady

Vada č. 4 vznikla nadbytečným materiálem na rovinné ploše. Nachází se u spodního krytu odlitku pro naftový motor B s typem Housing B. Touto vadou s nadbytečným materiálem vznikla nedostatečná rozměrová vzdálenost znemožňující volný pohyb hřídele. Rovněž nastal problém při obrábění odlitku, kdy spodní část frézy narazila na plochu s odlitkem a vlivem házení obráběcího nástroje byla díra obrobena s nepřipustnou válcovitostí a pozičním umístěním mimo výkresové tolerance. Tato vada je neopravitelná a odlitek je vrácen dodavateli.

Celkový pohled na sledovaný odlitek je na obr. 36a, detail nadbytečného materiálu je na obr. 36b. Možnou příčinou této vady je nepřesnost polohy jádra a formy nebo nedostatečně odvedený přebytečný kov z odlitku. Tato vada je zcela výjimečná a vyžadovala by okamžité ověřování nastavení parametrů lícího zařízení Italian Press, celého lícího procesu, přesnost umístění forem, jader, dosazovacích tlaků pístu po zhotovení takového odlitku.



Obr. 36a: Sledovaný odlitek

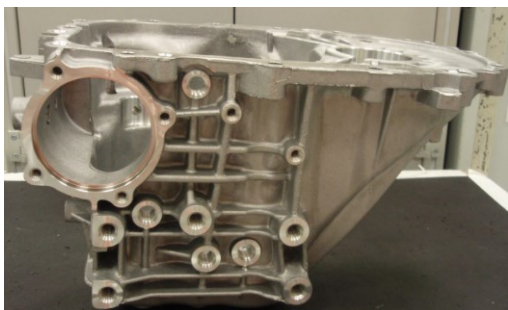


Obr. 36b: Nadbytečný materiál

Vada č. 5 patří do vnitřních vad a jedná se o porezitu. Nachází se na horním krytu převodové skříně pro naftový motor A s označením Case A. Jedná se o nejčtenější vadu analyzovaných odlitků s obecnou definicí vnitřní vada odlitku. Vizuální kontrolou jsou zjištěny vnitřní vady v závitové díře. Touto vadou by vznikla nedostatečná pevnost závitového spoje s možností vzniku náhlého lomu přilehlých části závitové díry a následně k odlomení odlitku. Tato vada je neopravitelná a odlitek je vrácen dodavateli.

Celkový pohled na sledovaný odlitek je na obr. 37a, na odlitek s odřezanou oblastí vady obr. 37b, na detail závitové díry odřezané oblasti obr. 37c a na řez stěnou odlitku v oblasti vad 37d. Na první fotografii pořízené na scanovacím elektronovém mikroskopu lze rozpoznat kombinaci dvou slévarenských vad podle kritéria tvaru povrchu dutiny. Nejnižší část dutiny je hladká, což napovídá o zahlceném plynu a přilehlé okolí dutiny má tvarově členitý tvar, kopírující dendritickou stavbu kovu, což dokazuje mechanismus mikrostáženin. Staženina je dutina v odlitku, která vzniká úbytkem slitiny při tuhnutí, větší část jejího povrchu má proto obnažené dendritové skelety. [9]

Důkaz porezitní vady je na obr. 38a, obr. 38b zobrazuje členitější povrch dutiny typický pro mikrostáženinu. Na obr. 38a a 38b jsou uvedeny místa (A, B, C), které byly následně pozorovány detailně.



Obr. 37a: Sledovaný odlitek



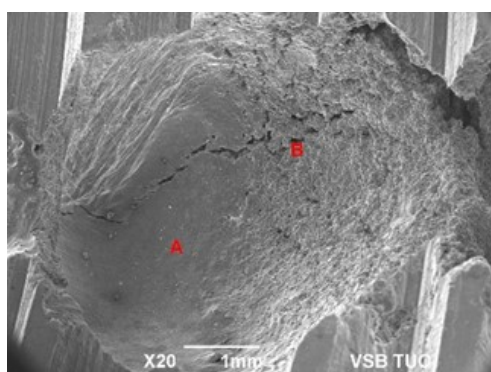
Obr. 37b: Pohled na odřezaný odlitek



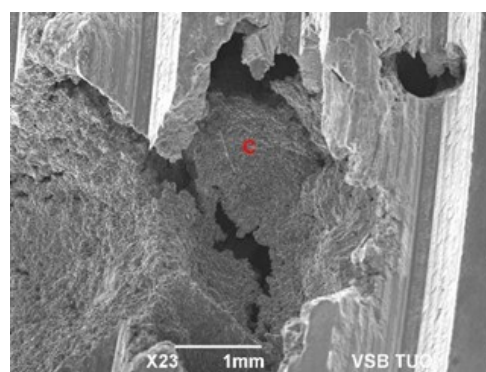
Obr. 37c: Detail závitové díry



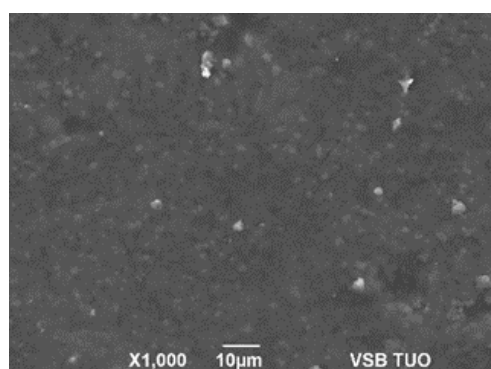
Obr. 37d: Řez v oblasti závitové díry



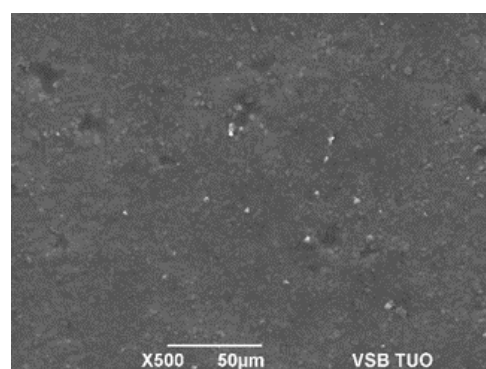
Obr. 38a: Povrch porezity



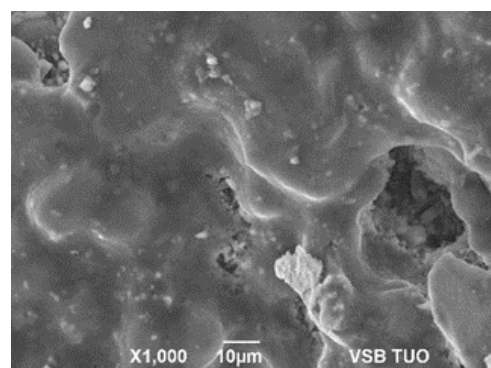
Obr. 38b: Povrch mikrostaženiny



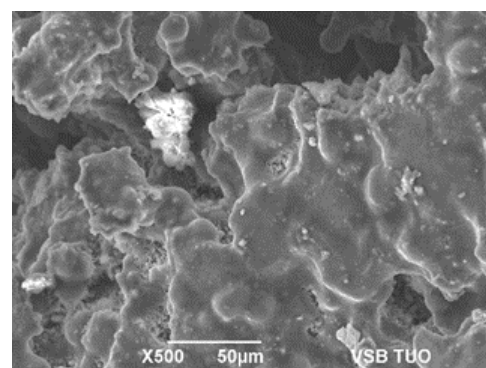
Obr. 39a: Detail místa **A**



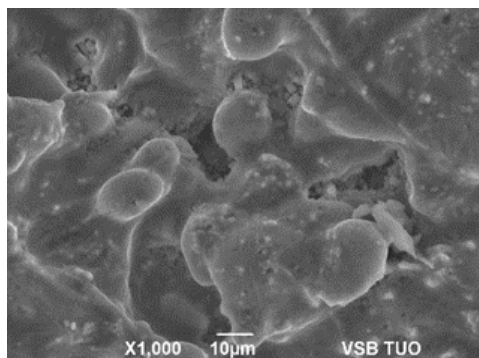
Obr. 39b: Detail místa **A**



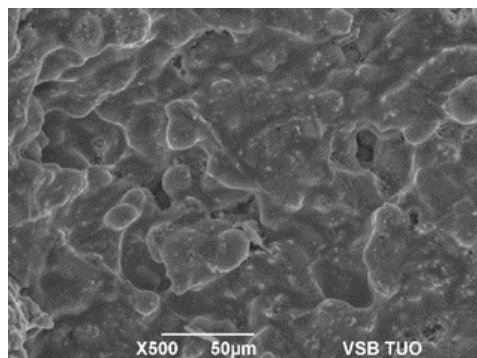
Obr. 40a: Detail místa **B**



Obr. 40b: Detail místa **B**



Obr. 41a: Detail místa **C**

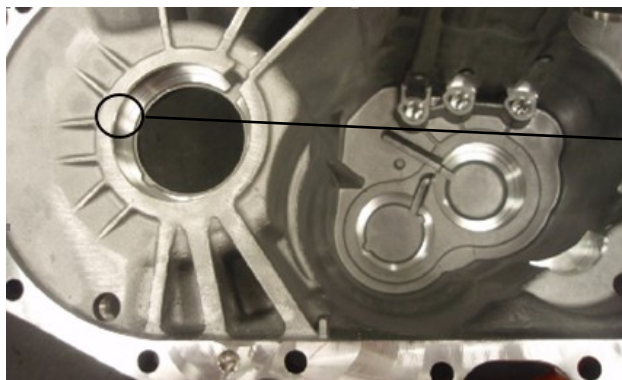


Obr. 41b: Detail místa **C**

Vada č. 6 patří do vnitřních vad a jedná se o plynovou bublinu.

Nachází se po obrobení na horním krytu převodové skříně pro naftový motor B s označením Case B. Touto vadou vznikla nedostatečná těsnost díry kolem diferenciálního kola. Tato vada je neopravitelná a odlitek je vrácen dodavateli. Celkový pohled na sledovaný odlitek je na obr. 41a, vadu s detailem ukazuje šipka obr. 41b.

Na detailních fotografiích pořízených z elektronového mikroskopu lze rozpoznat hladší povrch dutiny, což svědčí o zbytkovém plynu. Jedná se o vodík, který je zastoupen v množství až 97 % ze všech plynů u vnitřních vad hliníkových odlitků. [8]

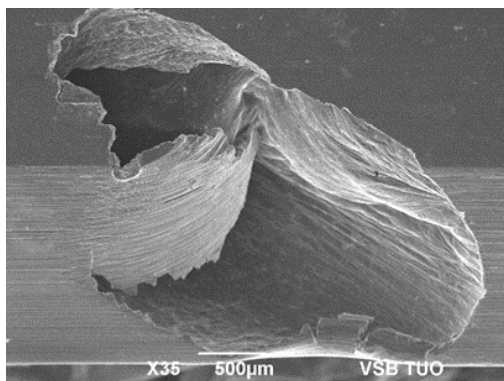


Obr. 41a: Sledovaný odlitek

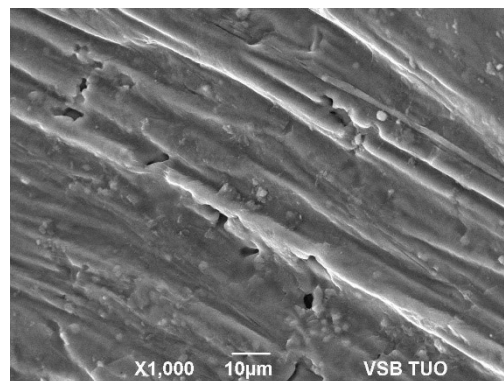


Obr. 41b: Detail vady

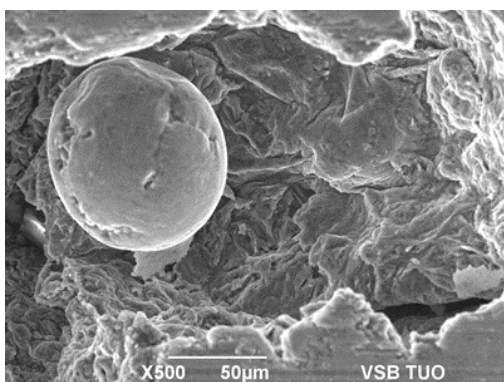
Obr. 42a je pohled na povrch vady obr. 41b, obr. 42b je pohled na detailní povrch obr. 42a, obr. 43a je pohled na jiné místo povrchu obr. 41b, snímek 43b je pohled na detailní povrch obr. 43a.



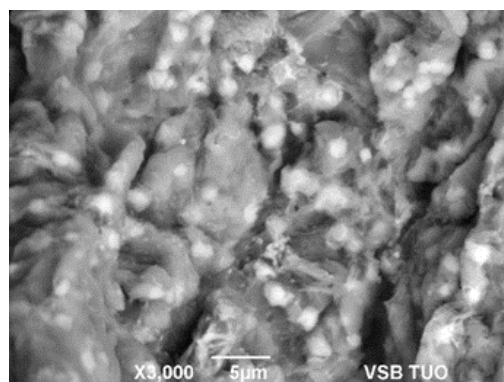
Obr. 42a: Pohled na povrch obr. 41b



Obr. 42b: Detail povrchu obr. 42a



Obr. 43a: Jiné místo povrchu obr. 41b



Obr. 43b: Detail povrchu obr. 43a

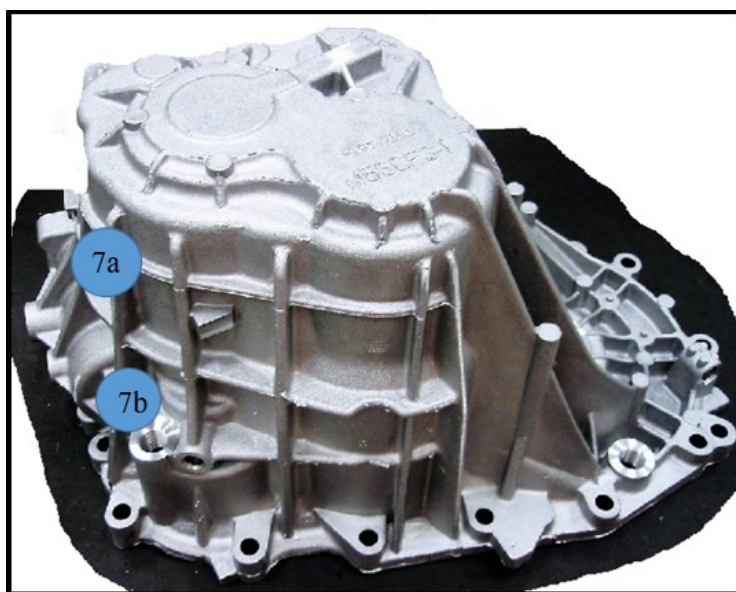
17.2 Analýza neshodného odlitku s přípustnou a nepřípustnou vadou

Do této kategorie spadá větší množství různých povrchových vad odlitků, které nemají na budoucí životnost převodové skříně přímý vliv. Vizualní kontrolou se tyto kusy uvolňují pro montáž převodovek. Dodavatel je s těmito přípustnými neshodami samozřejmě informován pro budoucí nápravná opatření omezování vad. Na obr. 44a jsou vidět 2 nalezené vady odlitku vrchního dílu převodovky pro naftový motor A s označením Case A.

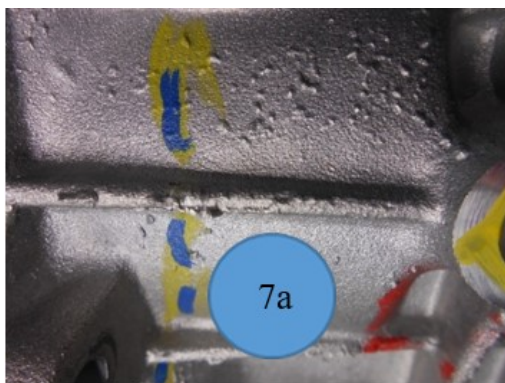
Vada č. 7a je definována jako zvrásněný povrch obr. 45a a spadá do třídy vad 200 - vad povrchu a skupiny vad 272 - zvrásnění povrchu. U hodnocených odlitků ze slitin hliníku je menší jakost povrchu odlitku po odlití známkou vyššího opotřebování kovových forem. Metalurgická příčina vady je obvykle nižší lící teplota. Příčinou vady může být sloučení oblasti metalurgie, konstrukce a jakosti forem. Názor dodavatele na vadu se odlišuje, vysvětluje ji také jako občasný běžný jev hliníkových odlitků litých pod tlakem bez ohrožení životnosti odlitku. [33]

Vada č. 7b je definována jako povrchová trhlina obr. 45b a spadá do třídy vad 300 - porušení souvislosti a skupiny vad 311 - povrchová trhlina. Trhliny vznikají pod účinkem napětí v odlitku vlivem rozdílného ochlazování jeho částí. Vyskytují se nejčastěji v tepelných uzlech odlitku, kde je relativně pomalejší tuhnutí. Pohledem na přípustnou vadu odlitku je porušení povrchu křivolaké, což nasvědčuje povrchové trhlíně. Po detailnějším rozboru porušení souvislosti povrchu by se očekávalo obcházení hranic zrn trhlinou. U těchto masivnějších odlitků je nutné ověřit usměrněné tuhnutí, zaručit rovnoměrné ochlazování odlitku a důsledně zhodnotit vliv tepelných uzlů. Názor dodavatele se zcela ztotožňuje s mou verzí trhlíny. [30], [33]

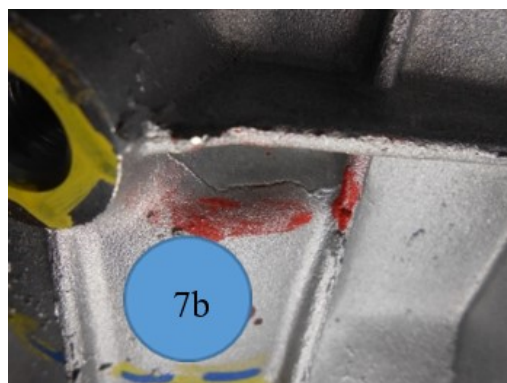
Teoretickým opatřením vzniku této vady je zlepšit konstrukci odlitku přidáním žeber na odlitku a následně úpravou formy a taky zhodnotit faktory metalurgické. Z hlediska metalurgie je vhodné udržovat obsah legujících prvků na dolní hranici tolerance, zvážit možnost modifikace slitiny sodíkem ke zjemnění dendritické struktury a omezení pásmové segregace přidáním prvků vzácných zemin. [9]



Obr. 44a: Odlitek s 2 vadami



Obr. 45a: Zvrásnění povrchu



Obr. 45b: Povrchová trhlina

17.3 Analýza neshodného odlitku s přípustnými vadami

Další nalezené vady povrchu jsou na náhodných částech odlitku spodní převodové skříňe pro benzínový motor D s označením Housing D. Z praktických zkušeností se jedná se o přípustné vady bez ohrožení funkčnosti odlitku. Dodavatel je opět seznámen s neshodným odlitkem fotodokumentací. Na sledovaném odlitku obr. 46 jsou definovány vady č. 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, 8f.

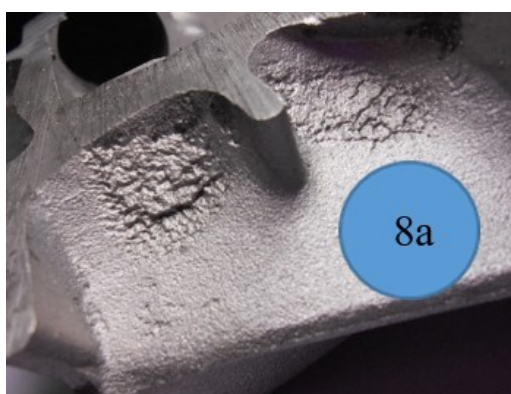


Obr. 46: Odlitek s několika přípustnými vadami povrchu

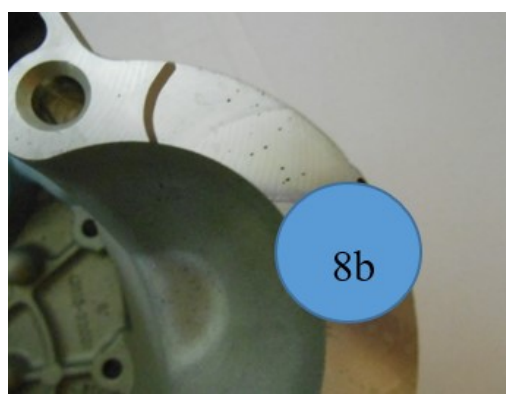
Vada č. 8a obr. 47a spadá do třídy vad 200 - vad povrchu a skupiny vad 272 - zvrásnění povrchu. Je zde pravděpodobné nesprávné ošetření formy před odléváním. Slévárna používá směs biologického maziva PETROFER DL 5050 BS s nízkým obsahem vosku, určeného pro tlakové lití hliníku, které má také dobrou odolnost proti bakteriálním a houbovým zamořením. PETROFER DL 5050 BS se mísí vodou v koncentraci 2% před každým licím cyklem. Důsledkem toho došlo k přituhnutí odlitku k formě a následným porušením povrchu při vyjímání z formy. Dodavatel souhlasí s mojí definicí vady. [33]

Vada č. 8b obr. 47b patří do vnitřních vad a jedná se o plynovou bublinu. Drobné dutinky jsou vidět na vrchní ploše odlitku a zřejmě se nevyskytují pod povrchem. Jsou způsobené výhradně vodíkem, který je zastoupen v množství až 97 % ze všech plynů u vnitřních vad hliníkových odlitků. Tato vada nezpůsobila vadu těsnosti odlitku tlakovým médiem a odlitek taky vyhověl po spojení s vrchním krytem na únik oleje. [9]

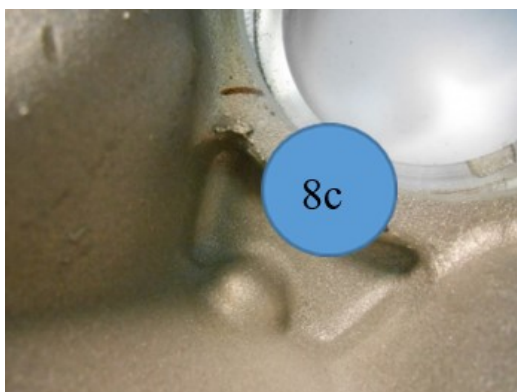
Vady 8c, 8d, 8e, 8f obr. 47c, 47d, 47e, 47f, jsou definovány do třídy vad 200 a skupiny vad 250 - výpotky. Z vizuálního pohledu se jedná o drobné vrstvičky, kapky. Tato vada je typická pro slitiny neželezných kovů, mezi které patří i hliník. Další příčinou může být zhoršená kvalita forem, nedodržení správného chemického složení nebo pochybení na technologickém postupu procesu výroby odlitků na automatickém licím stroji Italian Press. [34]



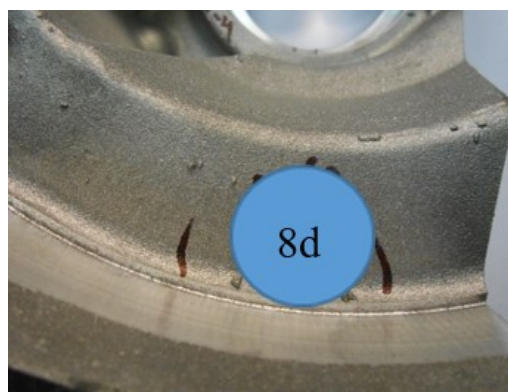
Obr. 47a: Zvrásnění povrchu



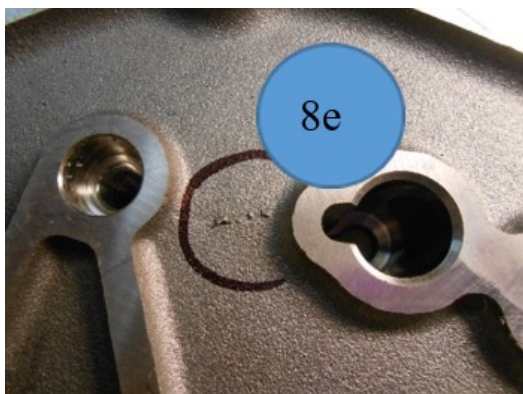
Obr. 47b: Plynové bubliny



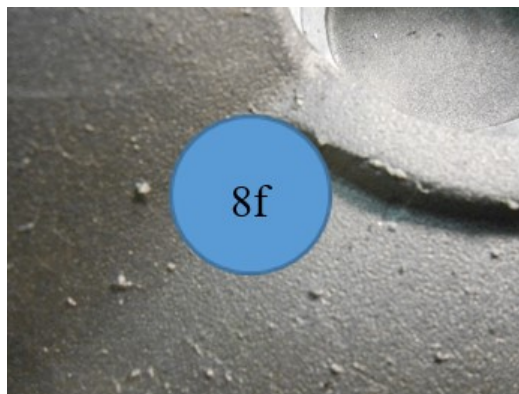
Obr. 47c: Výpotky



Obr. 47d: Výpotky



Obr. 47e: Výpotky



Obr. 47f: Výpotky

18. Půlroční statistika odlitků s nepřipustnými vadami

18.1 Statistika odlitků s nepřipustnými vadami v období 06/2016 - 11/2016

Půlroční statistika (od června do listopadu 2016) je shrnuta v přehledné tabulce spolu s grafickými zobrazeními obr. 48a, 48b, 48c, 48d, 48e, 48f. Tabulka obsahuje šest typů převodových skříní pro konkrétní motorizace s počty vyrobených kusů pro daný typ odlitku a jejich nalezené vady (Tab. 2). Je z ní jasně patrná dominance vnitřních vad odlitků. Z předchozího šetření vyplývá, že se jedná převážně o porezitu. U odlitků určených pro benzínové motory vyplývá větší výskyt vad z jejich většího množství.

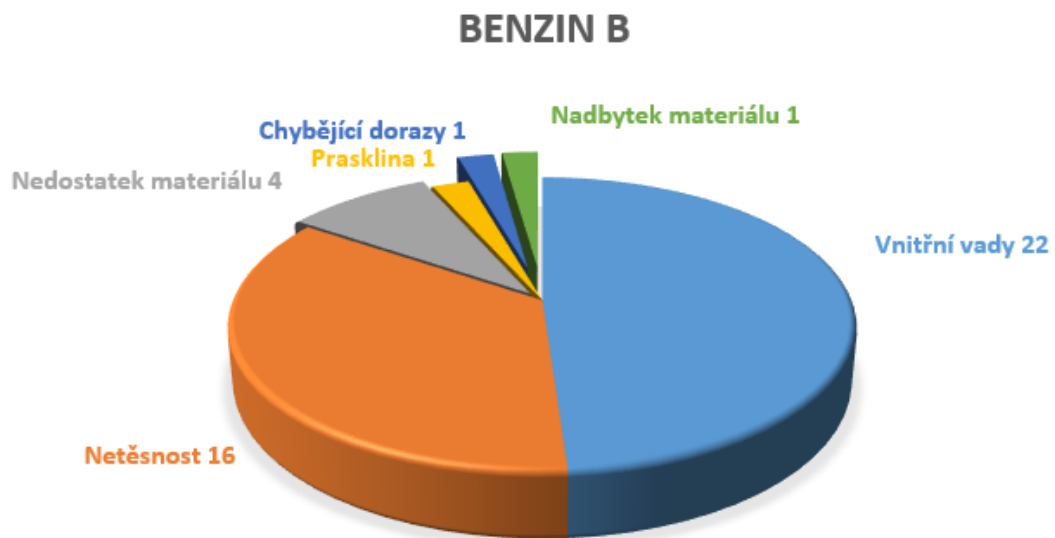
Sledování dlouhodobé četnosti neshodných odlitků s přípustnými vadami se neprovádí z důvodu minimálních kusů takových vad. Rozhodování přípustnosti případných neshodných odlitků provádí kompetentní operátoři výroby, kvality a jejich nadřízení pracovníci. Další náhodné rozporuplné vady odlitků jsou odloženy k dalšímu posouzení technologům výroby, kvality a vyhodnoceny kladně s uvolněním do výroby nebo negativně reklamačním řízením odeslány zpět dodavateli. K možným opravám odlitků se na obrobě přistupuje zcela ojediněle, v minulosti byly opraveny dva odlitky s nadbytkem materiálu sloužícího pro uchycení do obráběcího stroje. Tato nalezena nepřipustná neshoda byla opravena jemným obroušením.

Tabulka 2: Sledování nepřipustných vad odlitků v období 06/2016 - 11/2016

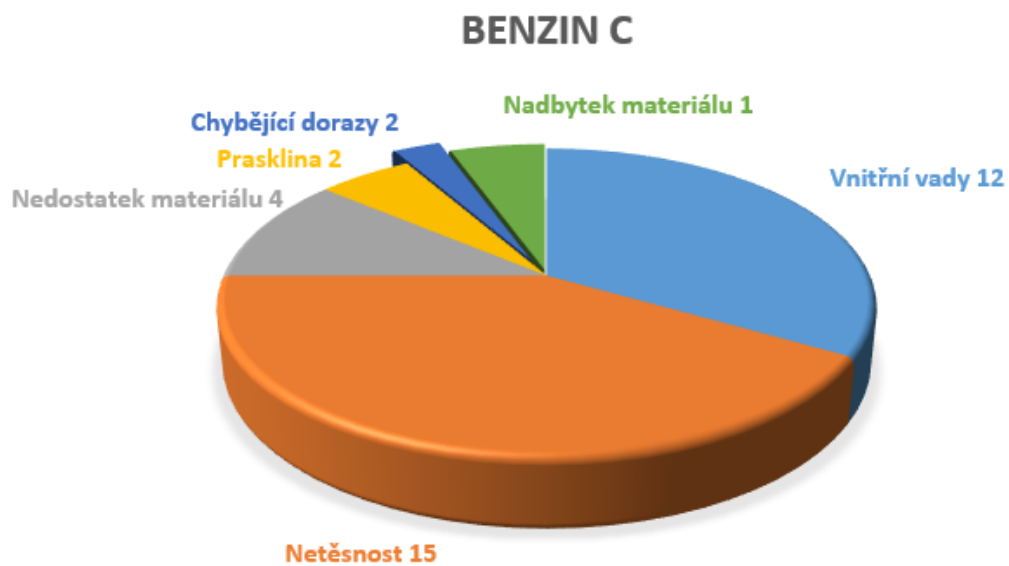
	<i>Benzin A 24173</i>	<i>Benzin B 21869</i>	<i>Benzin C 23716</i>	<i>Benzin D 19562</i>	<i>Diesel A 22153</i>	<i>Diesel B 27490</i>
Vnitřní vady	35	22	12	10	7	8
Nedostatek materiálu	4	4	4	3	3	2
Prasklina	2	1	2	1	1	1
Nadbytek materiálu	1	1	1	1	1	1
Chybějící dorazy	2	1	2	1	1	1
Netěsnost (leak test)	11	16	15	5	7	19
Σ	55	44	33	20	19	30



Obr. 48a: Četnost nepřipustných vad na odlitcích pro benzínový motor A



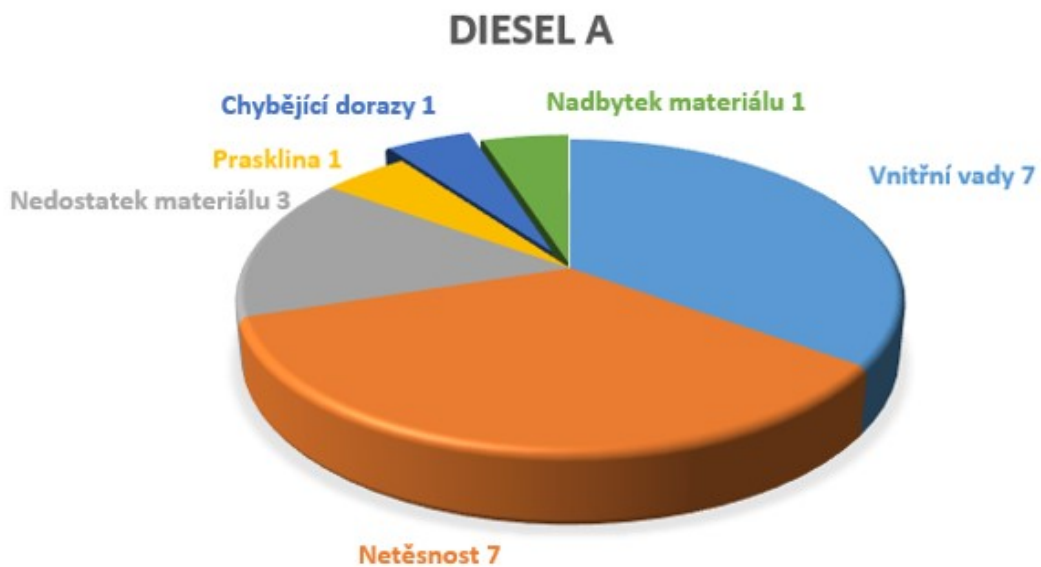
Obr. 48b: Četnost nepřijatelných vad na odlitcích pro benzínový motor B



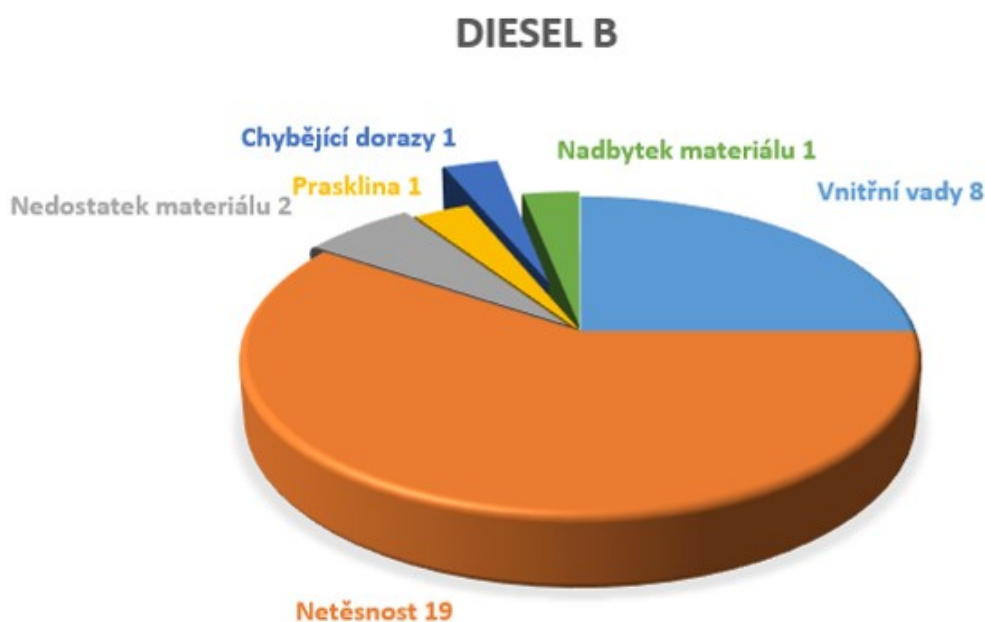
Obr. 48c: Četnost nepřijatelných vad na odlitcích pro benzínový motor C



Obr. 48d: Četnost nepřijatelných vad na odlitcích pro benzínový motor D



Obr. 48e: Četnost nepřijatelných vad na odlitcích pro dieselový motor A



Obr. 48f: Četnost nepřijatelných vad na odlitcích pro dieselový motor B

18. 2 Kompletní shrnutí půlroční statistiky roku 2016

Z celkového počtu vyrobených 138961 odlitků je pro sledované půlroční období 201 s nepřijatelnými vadami (Tab. 3). Konkrétně zde patří odlitky pro motorizace: Benzin A 55 vad, Benzin B 44 vad, Benzin C 33 vad, Benzin D 20 vad, Diesel A 19 vad, Diesel B 30 vad. Tyto odlitky byly všechny vráceny dodavateli výměnou za nové. Pro přesnost doplňuji, že některé odlitky s netěsností je schopen dodavatel opravit pomocí impregnace a opětovně dodat v požadované kvalitě.

Závěrem lze říci, že procentuální podíl nepřijatelných vad sledovaného období je 201, což je 0,14%. Výsledná sledovanost vad také dokazuje vysokou kvalitu odlitků dodavatele, díky osvědčené slitině hliníku AlSi9Cu3(Fe) pro tlakové lití a progresivním metalurgickým zpracováním. Z toho plyne, že převodové skříně mají záruku bezpečné funkce pro celou životnost automobilu.

Tabulka 2: Sledování nepřijatelných vad odlitků za půlroční období

Celkový počet sledovaných kusů (100 %)	Celkový počet sledovaných kusů s nepřijatelnými vadami (0,14 %)
138961	201

19. Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na hodnocení kvality odlitků převodových skříní automobilů Hyundai z hliníkové slitiny $AlSi9Cu3(Fe)$. Praktická část popisuje postup výroby ve slévárně a metodiku kontroly kvality odlitků. Dále se zabývá řízením převzetí dodaných odlitků na obrobně, jejich způsoby kontroly kvality výroby a analýzou jakosti obrobených odlitků a možnostmi vylepšování kvality. Nalezené vady byly členěny na přípustné a nepřípustné.

Z celkového počtu sledovaných 138961 kusů pro 6 typů motorizací (Benzin A, Benzin B, Benzin C, Benzin D, Diesel A, Diesel B) bylo 201 s nepřípustnými vadami, což je 0,14 %. Odlitky pro motorizaci Benzin A skončily ve sledovanosti nejhůře. Z celkového počtu 24173 kusů měly 55 nepřípustných vad, což je 0,23 %. Naopak nejmenší počet nepřípustných neshod měly odlitky pro motorizaci Diesel A. Z celkového počtu 22153 kusů měly 19 nepřípustných vad, což je 0,09 %. Z mého pohledu byly nejrozsáhlejší vnitřní vady odlitků, které taky mají úzkou návaznost na netěsnost a oslabení pevnostních charakteristik odlitků. Jednou z nejrozsáhlejší a současně nejzávažnější vadou je porezita. Sledovanost zároveň dokazuje vysokou jakost dodávaných odlitků a záruku bezpečného použití v automobilech.

Pokud chceme odhadnout, jak se bude vyvíjet kompletní metalurgie neželezných kovů, technologie konstrukce odlitků používaných v automobilovém průmyslu, lze pro krátkodobou předpověď pouze lineárně aproximovat současný stav. Budoucnost metalurgie neželezných kovů je rozhodně zajímavá, čeká nás vývoj nových slitin pro odlitky, výzkum predikce vad s možnostmi vylepšení optimalizace výroby, stálosti chemického složení slitin, metalurgického zpracování, procesu odlévání a kontroly jakosti. Schválením nových materiálů a díky masovější výrobě dojde ke zlevnění běžných slitin kovů.

V delším horizontu není lineární aproximace možná. Zde zřejmě nastoupí technologie výroby, rafinace a použití slitin kovů, které dosud neznáme a těžko si je dokážeme představit. Je možné, že začínají vznikat ve vojenských laboratořích nebo je popisuje sci-fi literatura. Můžeme tedy spekulovat o vývoji odlitků ze slitin kovových materiálů, které nemají v přírodě obdobu s vlastnostmi přesně nastavenými podle místa použití, indikujícími změny ve svém okolí a v dostatečném předstihu upozorňující obsluhu ještě před vznikem problému.

20. Seznam použité literatury

- [1] DORAZIL, E. Nauka o materiálu II. Vysoké učení technické v Brně, 1979. Učební texty vysokých škol. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] MICHNA, Š., et al. Encyklopedie hliníku. Prešov: Adin, 2005. 701 s. ISBN 8089041-88-4.
- [3] VOJTĚCH, D. Kovové materiály. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Praha, 2006. 185 s. ISBN 80-7080-600-1.
- [4] Hliník [online]. 2017 [citováno 2. 4. 2017], Wikipedie. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlin%C3%ADk>
- [5] PELLANT, Chris, PELLANT, Helen. Horniny a minerály. [s. l.]: Osvěta, 1994. 256 s. ISBN. 80-217-0582-5.
- [6] The aluminium production process, Bauxite mining [online]. 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z <http://european-aluminium.eu/about-aluminium/production-process/>
- [7] LOSERTO VÁ, M. Studijní opora: Metody výroby hliníku. Ostrava: VŠB – TU OSTRAVA, 2009. 27s.
- [8] LOSERTO VÁ, M. Studijní opora: Elektrolýza oxidu hlinitého. Ostrava: VŠB – TU OSTRAVA, 2009. 15s.
- [9] ROUČKA, J. a kol. Metalurgie neželezných slitin. 1. vyd. Brno: CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [10] SOJKA, J., VÁŇOVÁ, P. Základy progresivních konstrukčních materiálů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Studijní opora, 192 s.
- [11] BRZOBOHATÝ T. Současné trendy v metodách měření tvrdosti, Brno: VUT Brno, Bakalářská práce, 2010. 35 s.
- [12] KOLAŘÍK, L. Svařování hliníkových slitin, Technický týdeník, č. 13/2010, 2010. 36 s. ISSN 0040-1064.
- [13] De Vos, P. Příručka pro technology – Obrobitelnost. MM průmyslové spektrum. Prosinec 2011. roč. X, č. 12, 58s. ISSN: 1212- 2572.
- [14] LOSERTO VÁ, M. Slitiny hliníku. Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2009. 76s.
- [15] PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu II. 2. vydání. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [16] PETRUCHA R. Snižování hmotnosti karoserií osobních automobilu na základě volby materiálů, Brno: VUT Brno, Bakalářská práce. 2015. 52 s.

- [17] The Aluminium Automotive manual - Manufacturing Casting methods. [online]. 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://european-aluminium.eu/media/1526/aam-manufacturing-1-casting-methods.pdf>
- [18] VOJTĚCH, D. Kovové materiály. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 185 s. ISBN 80-7080-600-1.
- [19] LOSERTO VÁ, M. Studijní opora: Technologie speciálních slitin. Ostrava: Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2013. 156s.
- [20] CNC-Ported Gen V LT1 Cylinder Heads [online]. 2016 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.superchevy.com/how-to/engines-drivetrain/1310-cnc-lt1-gen-v-cylinder-heads/>
- [21] BOSI, C., GARAGNANI, G.L., TOVO, R. Fatigue properties of a cast aluminium alloy for rims of car wheels [online]. Italy 2015 [cit. 2015-03-04]. Università degli Studi di Ferrara.
- [22] VÁŇOVÁ, P. Studijní opora: Základy tepelného zpracování. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, Studijní opora, 128 stran
- [23] HERMAN, A., BRYNDA, M. Vliv metalurgického procesu na jakost tlakově litých odlitků. 4. Holečková konference: Trendy ve zpracování slitin neželezných kovů. První vydání. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011. 117 s. ISBN 978-80-02-02303-6.
- [24] Grossisti di metalli. [online]. 2017 [2017-09-04]. Dostupné z <http://www.lorini.biz/met/m2/imag/4594/4594g.jpg>
- [25] MĚŘINSKÝ, I. Slitiny neželezných kovů a jejich využití v praxi. Brno: VUT Brno, Bakalářská práce. 2012. 41 s.
- [26] Spojené slévárny spol. s r. o. Dostupné z <http://www.spojeneslevarny.cz/editor/images/hliniklitifull.jpg>
- [27] ÚŘEDNÍČEK, A. Optimalizace zpracování hliníkových slitin. Zlín: UTB Zlín, Bakalářská práce. 2013. 68 s.
- [28] DRYML, L., 2008. Strojírenská technologie. SPŠ a VOŠT Sokolská 1, Brno.
- [29] Nemač Innovative Lightweighting [online]. 2017 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z <http://www.nemak.com/products-and-technologies/?sc=0>
- [30] VALECKÝ, J. Lití kovů pod tlakem. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1963. 452 s.
- [31] MONROE, R. Porosity in Castings. In AFS Transactions. USA: [s.n.], 2005. 519-546 s.
- [32] VLČEK, O. Výroba odlitků z neželezných kovů. Brno: VUT Brno 2013, Bakalářská práce. 2013. 46 s.
- [33] MORAVEC, L. Výroba odlitků ze slitin hliníku. Brno: VUT Brno 2012, Diplomová práce. 2012. 52 s.

[34] ELBEL, T. a kol. Vady odlitků ze slitin železa. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992. 339 s.

[35] GRUZLESKI, J. E., CLOSSET, B.E. The Treatment of Liquid Aluminium - Silicon Alloys. Des Plaines: American Foundrymen's Society, Inc., 1999. 256 s.